

**Univerzita Karlova**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Fyziologie živočichů



Bc. Miroslava Jindrová

**Psychofyzilogické koreláty emocí a paměti**

Psychophysiological correlates of emotion and memory

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Školitel: Mgr. Petr Telenský, PhD.

Praha 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 24. 4. 2019

---

Podpis

Děkuji svému školiteli Mgr. Petrovi Telenskému, PhD. za umožnění realizace tohoto projektu a za cenné zkušenosti, Ing. Janu Štroblovi za pomoc a rady při analýze dat pomocí MATLABu, bez něhož by její dokončení nebylo možné. V neposlední řadě děkuji své rodině a blízkým za nekonečnou podporu a trpělivost během mých studií.

Tato práce byla realizována s finanční podporou grantu č. 1204217 poskytnutého GA UK.

## Abstrakt

Hlavním cílem této práce bylo poskytnout souhrnný přehled psychofyziologických korelátů emocí a paměti pomocí neinvazivních psychofyziologických metod jako první krok k dlouhodobému cíli aplikace těchto metod v diagnostice afektivních a kognitivních poruch. Dílčím cílem bylo zavést jednoduše aplikovatelnou sadu testů použitelnou pro testování emočních a paměťových procesů. Byla získána EEG, GSR a eye-trackingová data 100 účastníků bez neurologických a psychiatrických poruch během sledování emočních obrázků a vykonávání paměťových testů. Výkony spekter byly počítány pro každých 500 ms stimulu pro theta, alfa, beta1, beta2 a beta3 pásmo ve 12 oblastech mozku. Nižší alfa a vyšší beta3 výkon byly pozorovány v souvislosti s vyšší intenzitou emoce. Negativní emoce byly rozlišeny časoprostorovými změnami beta1 výkonu, zatímco pozitivní emoce ukázaly vyšší beta3 výkon v pravé temporální oblasti. Korelátem kódování informace byl vyšší výkon alfa aktivity. Při úspěšném vybavení informací byl pozorován nižší theta a vyšší alfa výkon v centrálních oblastech a celkový nárůst výkonu beta frekvencí. Výsledkem této práce je přehledný souhrn časoprostorových spektrálních korelátů emočních a paměťových procesů.

**Klíčová slova:** Elektroencefalografie, elektrodermální aktivita, psychofyziologie, paměť, emoce, pozornost

## Abstract

The first aim was to determine the baseline psychophysiological correlates in healthy subjects as a first necessary step towards the long-term goal of application the psychophysiological techniques in diagnostics mood and cognitive disorders. The second aim was to establish an easily applicable set of tests for evaluating emotional and memory processes by non-invasive psychophysiological methods. EEG, GSR, and eye-tracking data from 100 participants without any neurological or psychiatric disorders were obtained during watching affective pictures and performing memory tests. The spectral powers were computed for each 500 ms of the stimuli in theta, alpha, beta1, beta2 and beta3 bands in 12 areas of the brain. Lower alpha and higher beta3 power was related to higher emotional intensity. Negative emotions were distinguished in spatio-temporal changes of beta1 power and positive emotions showed higher beta3 power in right temporal region. Memory encoding showed higher alpha power. Lower theta and higher alpha power in central regions and overall increase of beta bands were observed during successful memory retrieval. A summary of spatio-temporal spectral correlates to emotional and memory processes was provided by this work.

**Key words:** Electroencephalography, electrodermal activity, psychophysiology, memory, emotion, attention

# Obsah

<b>1.</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>LITERÁRNÍ PŘEHLED</b>	<b>2</b>
2.1.	STUDIUM EMOCÍ	2
2.1.1.	<i>Spektrální EEG koreláty emocí</i>	4
2.1.2.	<i>Koreláty elektrodermální aktivity a emocí</i>	8
2.2.	STUDIUM PAMĚTI	9
2.2.1.	<i>Spektrální EEG koreláty paměti</i>	12
2.2.2.	<i>Koreláty elektrodermální aktivity a paměti</i>	15
<b>3.</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b>	<b>17</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIÁL A METODY</b>	<b>18</b>
4.1.	EXPERIMENTÁLNÍ SEZENÍ	18
4.1.1.	<i>Měření EEG a elektrodermální aktivity</i>	18
4.1.2.	<i>Eye-tracking</i>	18
4.1.3.	<i>Emoční testy</i>	19
4.1.4.	<i>Paměťové testy</i>	21
4.1.5.	<i>Charakteristika souboru</i>	22
4.2.	ZPRACOVÁNÍ DAT	23
4.2.1.	<i>Eye-trackingová data</i>	23
4.2.2.	<i>EEG data</i>	24
4.2.3.	<i>Elektrodermální data</i>	26
<b>5.</b>	<b>VÝSLEDKY</b>	<b>27</b>
5.1.	KORELÁTY EMOCÍ	27
5.1.1.	<i>Elektrodermální koreláty emocí</i>	27
5.1.2.	<i>Spektrální EEG koreláty emocí</i>	28
5.2.	KORELÁTY PAMĚTI	39
5.2.1.	<i>Elektrodermální koreláty paměti</i>	39
5.2.2.	<i>Spektrální EEG koreláty paměti</i>	40
<b>6.</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>46</b>
	<i>GSR</i>	46
	<i>EEG</i>	47
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>51</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM LITERATURY</b>	<b>52</b>

## **Seznam použitých zkratk**

EDA – elektrodermální aktivita

EEG – elektroencefalografie

GAPED – The Geneva Picture Affective Database

IAPS – International Affective Picture System

ICA – analýza nezávislých komponent (independent komponent analysis)

LF – levá frontální oblast

LP – levá parietální oblast

NAPS - The Nencki Affective Picture System

PF – pravá frontální oblast

PP – pravá parietální oblast

SCL – hladina kožní vodivosti (skin conductance level)

SCR – odpověď kožní vodivosti (skin conductance response)

# 1. Úvod

Psychofyzilogie je vědní obor zabývající se souvislostmi mezi mentálními a fyziologickými procesy člověka. Pochopení souvislostí psychických stavů člověka s fyziologickým fungováním organismu by mohlo výrazně přispět ke zlepšení v diagnostice a terapii psychiatrických a kognitivních poruch, jako jsou depresivní poruchy nebo Alzheimerova choroba.

Mezi nejpoužívanější metody sledující fyziologické odpovědi mozku na psychologické podněty patří elektroencefalografie (EEG), pozitronová emisní tomografie (PET), funkční magnetická rezonance (fMRI), funkční blízko-infračervená spektroskopie (fNIRS) a magnetoencefalografie (MEG). Periferní odpovědi organismu mohou být monitorovány například pomocí pletysmografie, měřením změn elektrodermální aktivity (EDA), teploty těla, srdeční činnosti, sledováním pohybu očí (eye-tracking) nebo také metodou elektromyografie (EMG).

Tato práce se zabývá studiem emocí a paměti zejména pomocí metody EEG z hlediska spektrálních vlastností elektrické aktivity mozku, měřením elektrodermálních reakcí a eye-trackingu pro kontrolu pozornosti probandů. Experimentální měření zahrnovalo účast zdravých dobrovolníků, kteří absolvovali sérii emočních a paměťových testů za účelem nalezení standardních fyziologických korelátů daných kognitivních a afektivních funkcí.



## **2. Literární přehled**

### **2.1. Studium emocí**

Emoce je afektivní stav, který vzniká jako reakce na vnímání vnějších i vnitřních podnětů. Z pohledu evoluce jsou emoce považovány za komplexní reakci jedince na podněty prostředí a tvoří významnou složku sociálních interakcí. V tomto kontextu může emoce výrazně ovlivnit chování jedince a jeho reakce na situace, ve kterých se ocitl a tím kladně ovlivňovat jeho evoluční fitness. K těmto závěrům došel již Darwin ve své knize *The Expression of the Emotions in Man and Animals* (1872). Jednotlivé emoce specificky modulují činnost nervového systému jedince, čímž zlepšují pozornost jedince k důležitým podnětům životního prostředí. Každá emoce vyvolává jedinečný stav vědomí, čímž přímo ovlivňuje exekutivní funkce a reakce jedince na podněty. Prostřednictvím aktivity autonomních nervů emoce regulují respirační a kardiovaskulární systém, činnost žláz (s vnější i vnitřní sekrecí) a svalů (zejména obličejových) a také se mohou podílet na modulaci senzorických vstupů. (Izard & Buechler 1980)

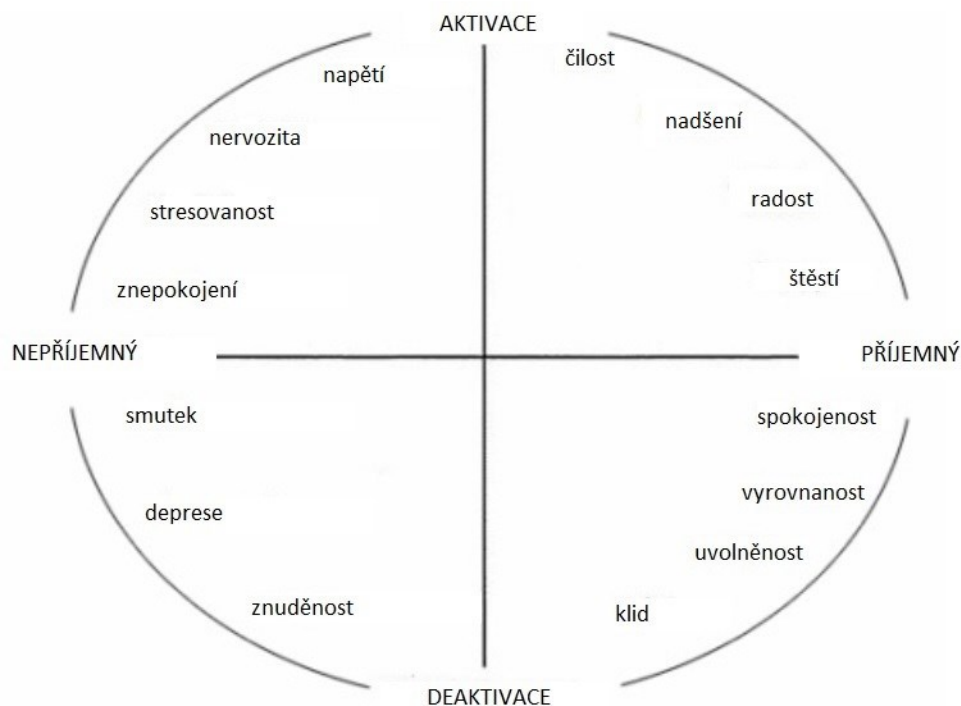
V historii studia psychofyziologie emocí existují 3 hlavní teorie: James-Langova teorie, která říká, že emoční stimul spouští fyziologické reakce, jejichž percepce představuje prožívání pocitů. Proti tomu se ohrazuje Cannon-Bardova teorie, podle níž je autonomní odpověď organismu příliš pomalá na to, aby způsobovala vnímané emoce, které přichází bezprostředně po stimulu. Emoční stimuly jsou zpracovávány v mozku a výstupem jsou na sobě nezávislé fyziologické a mentální odpovědi. Třetí, Schachter-Singerova (dvoufaktorová) teorie přichází na základě experimentů se závěrem, že fyziologické změny jsou vnímány jako prožívané emoce v případě, že jsou po kognitivním zpracování přisuzovány danému emočnímu stimulu. (Fentaw 2017)

Na výzkumu emocí se významnou mírou podíleli Ekman a Friesen, kteří rozlišovali 6 základních emocí – hněv, strach, smutek, štěstí, znechucení a překvapení. Všechny tyto emoce jsou od sebe spolehlivě rozlišitelné podle výrazu člověka a odlišného zapojení mimických svalů. (Ekman 1992) Toto rozlišení základních emocí platí napříč lidskými kulturami s výjimkou

překvapení, které není vždy spolehlivě u všech kultur rozeznáno od strachu. (Ekman & Friesen 1971) Ekman uvažoval také o vzrušení, rozpacích a bázni jako o potenciálních základních emocích. Tyto emoce však nebyly v laboratorních podmínkách snadno testovatelné. Ostatní emoce Ekman zařazoval do „rodin“ již zmíněných základních emocí či ke smíšeným afektivním stavům, na kterých se podílí více základních emocí najednou a mohou být také důsledkem naučeného chování jedince. Od emocí zároveň odděloval nálady (euforie, podráždění), emoční postoje (láska, nenávist) a další aspekty ovlivňující emoční citění. (Ekman 1992)

Jiný pohled na klasifikaci emocí představuje dimenzionální model, se kterým přišel H. Schlosberg. Tento model zařazuje emoce do prostoru tří dimenzí: valence (pozitivní – negativní), pozornost (odklon – příklon) a aktivace (klid – vzrušení). Aktivaci určuje intenzita reakce, kterou emoce představuje. Aktivační složka emoce je doprovázena zvýšenou aktivitou cerebrálního kortexu a autonomního nervstva. To se projevuje zvýšeným napětím kosterních svalů a především galvanické kožní reakce zprostředkované zvýšenou činností ekrinních žláz v kůži. (Schlosberg 1954) Další studie uvádí, že Schlosbergovy dimenze aktivace a pozornosti vysoce korelují a jsou od sebe nerozlišitelné. (Abelson & Sermat 1962) Později byl dimenzionální model obohacen kromě valence a intenzity/aktivace o dimenzi nazývanou dominance nebo také potence, která má vyjadřovat míru kontroly nad událostmi (například vztek, kdy má člověk pocit kontroly a vlivu na okolí a naopak úzkost, kdy má dojem absolutního nedostatku kontroly nad událostmi). (Russell & Mehrabian 1977; Osgood 1966) Krátce poté se ukázalo, že ani dominance není dostatečně nezávislá od zbylých dvou dimenzí (valence a intenzity) a je pravděpodobně spíše důsledkem kognitivního zpracování emoce, než její složkou. (Russell 1980; Russell 1978)

Dimenzionální model emocí je tedy dnes představován dvěma hlavními dimenzemi, jimiž jsou valence a intenzita (obr. 1). Při studiu lidských emocí se často do hodnocení zařazuje i škála dominance, avšak dvojdimenzionální model se ukazuje být pro klasifikaci emocí plně uspokojivý. (Remington et al. 2000; Posner et al. 2005)



**Obrázek 1** – Dvojdímenzionální model emocí: vertikální přímka znázorňující aktivaci a horizontální přímka valenci emocí (převzato a přeloženo Posner et al., 2005)

### 2.1.1. Spektrální EEG koreláty emocí

Hledání korelátů emočního zpracování mozkiem představuje v neurovědním oboru neuspořádanou a ne zcela objasněnou oblast. Vědecké přístupy ke zkoumání emocí se liší ve stimulech určených k jejich vyvolání. Těmi mohou být videa, audio nahrávky či nejvíce používané obrázkové stimuly, které se však dále dělí na fotografie obličejů a afektivních výrazů a obrázky emočních databází jako je International Affective Picture System (IAPS)(Lang et al. 2008), The Nencki Affective Picture System (NAPS) (Marchewka et al. 2014), The Geneva Affective Picture Database (GAPED) (Dan-glauser & Scherer 2011) a další. Emoční databáze obsahují fotografie běžných objektů a scén, ale i nevšedních pohledů a situací. Tyto obrázky slouží k vyvolání emočních reakcí a tvoří tak soubory standardizovaných stimulů pro studium emocí. Kromě rozdílů v prezentaci stimulů jsou výstupy ovlivněny také způsobem analýzy elektroencefalografických záznamů. Vědci se, kromě vyvolávaných potenciálů, často zaměřují na spektrální aktivitu v určitých frekvenčních oblastech, což přináší podrobné výsledky, ale chybí tak informace o zbylých spektrech ve stejném rozsahu za stejných

laboratorních podmínek, což může tvořit mezery v poznání či nedostatečné srovnání výsledků.

**Tabulka 1** – Definice jednotlivých vlnových pásem na základě jejich frekvenčního rozmezí

Vlnové pásmo	Frekvenční rozmezí
Delta	0,1 – 4 Hz
Theta	4 – 8 Hz
Alfa	8 – 12 Hz
Beta	12 – 30 Hz
Gamma	30 – 100 Hz

## Delta a theta aktivita

Při sledování obrázků z databáze IAPS byly pozorovány rozdíly v synchronizaci theta vln mezi hemisférami. Synchronizace theta vln se projevila více v levé anteriorní části hemisféry při pozitivním stimulu a naopak v pravé anteriorní oblasti při stimulu negativním. (Aftanas et al. 2001) Podlé jiné práce by však theta aktivita ve frontální a centrální oblasti mohla být indikátorem pozitivních emocí a posteriorní aktivita emocí negativních. (Gaeta et al. 2015)

Jiná studie prokázala spojitost frontální aktivity theta a delta a také gamma oscilací s intenzitou emoce, ale nebyla nalezena rozdílná asymetrie v závislosti na valenci přítomné emoce. (Balconi, Brambilla, et al. 2009) Zvýšená aktivita theta vln v závislosti na vyšší intenzitě emoce se v anteriorních oblastech (anteriorní temporální a frontální elektrody) dále ukázala být spíše levostranná. (Aftanas et al. 2002; Aftanas et al. 2004) V posteriorní části (parietotemporální, centroparietální, parietální a okcipitální elektrody) ukázala zvýšená theta aktivita krátce po stimulu spojitost s intenzitou emoce, zejména negativní stimuly vyvolaly rychlé zvýšení theta aktivity. (Sun et al. 2012; Aftanas et al. 2001; Gaeta et al. 2015) Posteriorní theta aktivita v souvislosti se zpracováním afektivního

stimulu je lokalizována více v pravé hemisféře. (Aftanas et al. 2002; Aftanas et al. 2004)

Delta aktivita je korelátem zpracování afektivních stimulů zejména svou zvýšenou aktivitou v posteriorních oblastech velmi krátce po stimulu. (Aftanas et al. 2004)

## **Alfa aktivita**

Valence emoce se také považovala být kódovaná v cerebrální asymetrii anteriorních a frontálních oblastí, kdy negativní emoce aktivovaly pravou část a pozitivní emoce levou část. (Davidson et al. 1990) Na tento jev ukázala zejména aktivace oblastí snížením alfa oscilací v levé anteriorní části hemisféry při pozitivní emoci a v pravé při negativní emoci vyvolané během sledování krátkých filmů (Zhao et al. 2018), ale i pomocí obrázků z databáze IAPS (Balconi, Falbo, et al. 2009) nebo obrázků obličejů s afektivními výrazy (Balconi & Mazza 2009). Reakce na pozitivní stimul v levé frontální části kůry prostřednictvím snížené alfa aktivity nebyla však vždy signifikantní. Avšak frontální alfa asymetrie emočních prožitků je stále sporná. Někteří poukazují na fronto-parietální alfa lokalizaci valence, tedy alfa desynchronizaci ve frontálních oblastech, která je rychlejší v případě negativní emoce a v parietálních oblastech za přítomnosti pozitivní emoce. Jako korelát přítomné emoce se jeví i distribuční alfa desynchronizace se silnější odezvou při pozitivních emocích. (Gaeta et al. 2015)

Jiná práce hledající souvislost mezi alfa aktivitou a intenzitou emocí ukazuje rychlou anteriorní synchronizaci alfa vln velice krátce po stimulu s vysokou intenzitou a následnou desynchronizaci v levé hemisféře.<sup>1</sup> Zároveň se objevuje posteriorní alfa desynchronizace při zpracování emocí jakékoliv intenzity. (Aftanas et al. 2002; Aftanas et al. 2004)

## **Beta aktivita**

Synchronizace beta oscilací se objevuje při zpracování jakýchkoliv afektivních stimulů ve frontálních oblastech koherentně s posteriorními

---

<sup>1</sup> Synchronizaci a desynchronizaci se rozumí změny ve výkonu jednotlivých spekter, přičemž při synchronizaci se výkon spektra zvyšuje a při desynchronizaci se snižuje.

oblastmi a to v obou hemisférách. Tato koherence byla o mnoho výraznější u žen. (Miskovic & Schmidt 2010) Výsledky jiné studie však ukazují, že beta aktivita je zvýšená při pozitivním stimulu oproti neutrálnímu pouze v okcipitálních oblastech, zatímco při negativních stimulech vykazuje vyšší aktivitu distribučně. (Güntekin & Başar 2010) Aftanas a kolegové ukazují při zpracování afektivních stimulů na aktivitu nižšího beta1 pásma (12-18 Hz) v anteriorních oblastech a vyššího beta3 pásma (22-30 Hz) v posteriorních oblastech oproti stimulům neutrálním. (Aftanas et al. 2004)

## **Gamma aktivita**

Při zpracování emocí mozkiem je rychlejší reakce na negativní stimuly, která je spojena s rychlým nárůstem beta a gamma oscilací a tedy celkovou aktivací mozku. Možným vysvětlením může být fakt, že na negativní podněty potřebuje jedinec reagovat rychleji. (Keil et al. 2001; Güntekin & Tülay 2014) Další studie hovoří o reakci mozku zvýšenou gamma aktivací na negativní stimuly a to signifikantně u negativních emocí s nízkou intenzitou. Nicméně tato reakce byla porovnávána pouze s neutrálními stimuly a porovnání s pozitivními emocemi v této práci chybí. (Gemignani et al. 2012) Zvýšená gamma aktivita je však pozorována u emocí negativní i pozitivní valence a to v temporo-okcipitálních oblastech a více v pravé hemisféře. (Keil et al. 2001) Vyšší gamma aktivitu v centrálních a parietálních oblastech vyvolala reakce na afektivní stimul, nicméně bez rozdílu aktivity mezi hemisférami. (Aftanas et al. 2004)

## **Shrnutí**

Podle současných poznatků můžeme shrnout, že theta aktivita je během zpracovávání afektivních stimulů přítomna zejména v anteriorních a posteriorních oblastech a pravděpodobně koreluje s intenzitou i valencí emocí. Tato korelace bude ale zřejmě závislá více na aktivitě frekvenčního pásma v čase než na míře jeho výkonu. (Aftanas et al. 2004; Sun et al. 2012)

Frontální alfa asymetrie je možná korelátem k valenci emoce, ale tato spojitost se zdá být komplikovanější než pouhé rozdělení na negativní a pozitivní emoce. Ukazuje se, že frontální asymetrie je závislá na motivačním

chování jedince, které se dělí na aktivační a inhibiční, přičemž, aktivační chování je spojeno s aktivní behaviorální reakcí na emoce a inhibiční chování se naopak váže ke zdrženlivosti a strachu. (Coan & Allen 2003 podle Gray 1994) U jedinců s aktivačním motivačním chováním je pak výraznější frontální aktivita levé hemisféry (lépe reagují na pozitivní stimuly) a u jedinců s chováním inhibičním se projevuje větší frontální zapojení pravé hemisféry (citlivější k negativním stimulům). (Balconi, Falbo, et al. 2009; Coan & Allen 2003)

Potenciálním korelátem pozitivních emocí by mohla být zvýšená beta aktivita v okcipitálních oblastech mozku oproti podnětům neutrálním. (Güntekin & Başar 2010) Negativní emoce by potom mohly být kódovány zvýšenou beta a gamma aktivitou závislou na čase. (Güntekin & Tülay 2014; Keil et al. 2001) Intenzita emocí se zdá být rozlišitelná podle časového zpracování v jednotlivých frekvenčních pásmech. (Aftanas et al. 2002; Keil et al. 2001; Gaeta et al. 2015)

### **2.1.2. Koreláty elektrodermální aktivity a emocí**

Měření kožní vodivosti, tj. aktivity ekrinních potních žláz, je jednou z nejpoužívanějších metod v psychofyziologii. EDA je hodnocena z hlediska tonických změn vodivosti (SCL) a fázických specifických odpovědí (SCR). Dále je hodnocena latence, tedy časové rozmezí mezi stimulem a specifickou kožní odpovědí, počet SCR, velikost (amplituda) SCR, rychlost SCR (čas mezi počátkem a maximální hodnotou odpovědi) a poločas odeznění reakce (časový interval mezi maximální hodnotou odpovědi a bodem jejího 50% odeznění). (Dawson et al. 2007)

Elektrodermální odpověď na emoční stimul je již dlouho známa. SCR se zvyšuje lineárně s intenzitou emoce. (Aftanas et al. 2002; Lang et al. 1993) Tento lineární trend je přitom strmější u mužů než u žen. (Lang et al. 1993) Novější studie ale nenašla žádné mezipohlavní rozdíly ve změnách kožní vodivosti v reakci na emoční stimul. (Bianchin & Angrilli 2012) Reakce na stimuly o vysoké intenzitě je zároveň rychlejší (snižuje se délka latence) než na stimuly o nízké intenzitě emoce. (Witvliet & Vrana 1995) Zároveň je kožní

odpověď větší na negativní stimuly než na stimuly pozitivní. Nejvyšší amplitudu tedy vyvolávají negativní stimuly o vysoké intenzitě (obr. 2). (Balconi, Falbo, et al. 2009) Při sledování filmů je kožní odpověď velice výrazná při strachu a vzteku, u žen je navíc pozorována větší citlivost k filmům evokující smutek a znechucení, což je v souladu i s jejich subjektivním hodnocením vyvolaných emocí. (Fernández et al. 2012) Při sledování obličejů vyjadřujících strach byla pozorována rychlejší SCR reakce oproti neutrálním obličejům. (Williams et al. 2004)



**Obrázek 2** – Kožní odpověď na emoční stimuly (obrázky z databáze IAPS) o různé valenci ( $n=25$ ,  $p<0.01$ ) a intenzitě ( $n=25$ ,  $p<0.01$ ) (převzato a přeloženo Balconi, Falbo, et al. 2009)

## 2.2. Studium paměti

Paměť představuje proces uchování nabyté informace, znalosti či dovednosti a jejich případné opětovné vybavení během času. Paměťové stopy neboli engramy jsou ukládány v mozku distribučně a to posilováním určitých neuronových sítí aktivních při zpracovávání dané informace. (Lashley 1950) Klíčovou strukturou pro uložení informace do paměti je hipokampus, jehož léze znemožňuje uchování nových informací deklarativní paměti, ale retrográdní paměť zůstává z většiny nepoškozena. (Scoville & Milner 1957)

Paměť je klasifikována na senzorickou, krátkodobou a dlouhodobou na základě její doby trvání v rámci stovek milisekund, desítek sekund až minut, ale i hodin a dnů, či jakkoliv dlouho paměťová stopa přetrvává.



Senzorická paměť je paměť ikonická a echoická, která uchovává informaci o zrakové či sluchové percepci po dobu kratší než sekundu až maximálně několik sekund. (Sperling 1960; Dudai 2002) Doba uchování této senzorické informace nepřímo závisí na délce stimulu. (Di Lollo 1977)

Krátkodobou nebo pracovní paměť je označována paměť trvajícím od několika desítek sekund do několika minut. (Dudai 2002) Pracovní paměť je důležitá pro kognitivní funkce jako je myšlení, komunikace nebo učení. V těchto úlohách pracovní paměť zastupuje roli momentálního úložiště relevantních informací a kontroly pozornosti a zpracování informací. Pracovní paměť je tvořena centrální exekutivou, které je podřízena fonologická smyčka a opticko-prostorový náčrtník a epizodický buffer. (Baddeley 1992; Baddeley 2000) Centrální exekutiva je systém kontroly pozornosti nad dílčími složkami pracovní paměti. Fonologická smyčka představuje dílčí složku ukládající verbální a akustické informace a slouží k vnímání a tvorbě řeči. Další dílčí složkou je opticko-prostorový náčrtník, který obdobně ukládá vizuální a prostorové informace. Později byla doplněna třetí dílčí složka, kterou je epizodický buffer, spojující informace z těchto dvou dílčích složek do smysluplných celků. (Baddeley 2000) Dočasné úložiště informací z těchto tří složek a informací z dlouhodobé paměti relevantních k momentálním kognitivním procesům tvoří systém krátkodobé paměti. (Baddeley 2003) Krátkodobá paměť je tedy chápána jako podmnožina pracovní paměti. (Engle et al. 1999)

Dlouhodobá paměť trvá několik minut až dny nebo roky. Klasifikace dlouhodobé paměti se dále široce větví. Dvě hlavní větve představuje deklarativní (explicitní) a nedeklarativní (implicitní).

Deklarativní paměť představuje informace, které si vybavujeme vědomě. Patří sem paměť sémantická, která představuje fakta o světě a paměť epizodická zahrnující osobní vzpomínky jedince na prožité události. (Tulving 1995; Squire 2004) Součástí deklarativní paměti je rozpoznávací paměť týkající se epizodické i sémantické paměti. Rozpoznávací paměť se rozděluje na familiaritu a vzpomínání, přičemž familiarita je rozpoznání objektu jako známého bez vybavení dalších informací o něm, kdežto vzpomínání zahrnuje vybavení konkrétních informací o daném objektu. (Yonelinas 2002)

Nedeklarativní paměť je pamětí nevědomou. Dále se dělí na paměť procedurální, priming a perceptuální učení, klasické podmiňování a neasociativní učení. (Squire 2004) Procedurální paměť zahrnuje dovednosti a zvyky, tedy zlepšování motorických výkonů a kognitivních procesů (např. čtení, rozhodování). (Roediger III et al. 2007; Tulving 1995) Priming je zlepšené nebo rychlejší rozpoznání objektu po jeho předchozím vnímání na základě částečné informace nebo stimulu. V případě perceptuálního učení se jedná o asociaci objektu se smyslovým vjemem. (Tulving 1995; Schacter 1987) Klasické podmiňování je vytvoření asociace podmíněného podnětu s nepodmíněným podnětem, který následně spouští podmíněný reflex (Pavlovovské asociativní učení). Neasociativní učení pak představuje zvýšení či snížení citlivosti k určitému stimulu na základě předchozí zkušenosti (senzitivace, habitace). (Hawkins et al. 1993)

## **Fáze paměti**

Paměť je provázena 3 základními procesy – jejím nabytím, ukládáním (konsolidace) a vybavováním. Paměťová stopa může být také později modifikována při jejím vybavení, tehdy dochází k rekonsolidaci. (Walker et al. 2003) Další a poslední fází paměti může být zapomínání, kdy paměťová stopa slábne a postupně se ztrácí.

Iniciální fází paměti je její nabytí neboli učení. Je to v podstatě vytvoření neuronální dráhy, která reprezentuje engram. To začíná percepcí smyslových modalit z okolí nebo vnitřních stavů jedince (myšlenek, pocitů). Zpracování těchto informací je zprostředkováno specifickou aktivitou neuronů utvářejících synaptická spojení. Zesílením těchto synaptických spojení se vytváří paměťová stopa, což je proces závisející na synaptické plasticitě neuronů tedy jejich excitabilitě a dlouhodobé potenciaci či depresi. Dlouhodobá potenciace je dlouhodobé zesílení synapse způsobené opakovanou elektrickou stimulací obou neuronů, což zvyšuje pravděpodobnost opakované společné aktivity těchto neuronů. (Lisman 2007) Naproti tomu k dlouhodobé depresi dochází, když je aktivita neuronů příliš slabá a nedosahuje určitého prahu aktivace synapse. V tomto případě dochází k zeslabení spojů a tím i paměťové stopy. (Lisman & Richard

2007)Dlouhodobá deprese může být například následkem dlouhodobé potenciace jiné skupiny neuronů. (Lynch et al. 1977)

Kódování paměti a dlouhodobá potenciace plynule přechází v konsolidaci, tedy ukládání informace do dlouhodobé paměti. Konsolidace paměti probíhá na úrovni synaptické a systémové. Synaptická konsolidace začíná už pozdní fází dlouhodobé potenciace. V této fázi dochází k aktivaci signálních kaskád vedoucích k syntéze proteinů důležitých k funkčním a strukturním změnám synapsí vedoucích k posílení synaptického spojení. (Wang et al. 2006)Systémovou konsolidací se stává engram odolným vůči zásahům z vnějšku a narušení uložené informace. Systémová konsolidace je obecně považována za přesun paměťové stopy z hippocampu do kortexu. Buňky prezentující paměťovou stopu jsou v neokortexu aktivovány již během učení, avšak až po několika dnech se stávají plně nezávisle funkčními a reprezentují engram bez současného zpracování informace v hippocampu. (Kitamura et al. 2017)

Vybavování dříve uložených informací reaktivuje korové neuronové dráhy kódující danou paměťovou stopu, přičemž aktivita těchto neuronových sítí je během vybavování informace z velké části podobná aktivitě těchto neuronů při jejím kódování. (Abel & Lattal 2001)Vybavení informace může probíhat volně, což zahrnuje 2 fáze – první fází je hledání informací v dlouhodobé paměti pomocí pracovní paměti a druhou fází je rozpoznání dané informace, která má být vybavena. (Tarnow 2015) Druhým typ vybavování je postaven na základě asociací, které usnadňují reaktivaci uložené paměťové stopy. (Fisher & Craik 1977)Vybavení informace je zároveň tím účinnější, čím jsou podmínky vybavování podobnější těm, při kterých byla daná informace kódována. (Tulving & Thomson 1973)

### **2.2.1. Spektrální EEG koreláty paměti**

Obtížnost v dosažení jednotnosti výsledků ve studiu spektrálních korelátů paměti spočívá především v rozdílech zpracování jednotlivých typů paměti mozkiem a také v různorodosti testování paměti v laboratorních podmínkách, ale i mimo laboratoř. Další rozdíly mohou pak představovat

odlišné přístupy ke spektrální analýze. Jednotlivá vlnová pásma frekvenční analýzy jsou definována v tabulce č. 1 (str. 5).

## **Theta aktivita**

Důležitou roli v paměťových procesech má pomalá theta frekvence. Clouter a kolegové ukázali, že kódování epizodické paměti je provázáno fázovou synchronizací theta vln při zpracování více smyslových modalit, což vytváří mezi těmito modalitami asociační vazby. (Clouter et al. 2017) Výkon theta frekvence klesá hned po prezentaci stimulu, které byly později vybaveny a to zejména v levém temporálním laloku a posteriorních částech pravé parietální oblasti mozku. Pokles theta výkonu zároveň také ukázal významnou korelaci s kódováním prostorových informací. (Griffiths et al. 2016) Theta aktivita také ukazuje zvýšenou aktivitu při vybavení rozpoznávací paměti a to zejména v temporo-parietálních oblastech. (Burgess & Gruzelier 1997; Jacobs et al. 2006)

Určitou roli hraje theta aktivita také před prezentací stimulu. Zvýšená theta aktivita je pozorována, je-li jedinec obeznámen, že si má stimuly zapamatovat. (Schneider & Rose 2016) Nicméně výsledky korelace zvýšené theta aktivity před stimulem a následným zapamatováním těchto stimulů jsou sporné a nelze jednoznačně určit, zda theta vlny zprostředkovávají kódování informací do paměti. (Salari & Rose 2016) Tyto nesrovnalosti by mohly být vysvětleny úlohou theta aktivity při ukládání epizodické paměti a jejím následným vybavováním ve stejných kontextuálních podmínkách, ve kterých byla kódována. Za těchto podmínek vykazuje zvýšená theta aktivita při kódování příznivý účinek. (Staudigl & Hanslmayr 2013)

## **Spřažení theta a gamma aktivity**

Fázová synchronizace gamma a theta oscilací v parietálních oblastech mozku reprezentuje shodu obsahu uloženého v pracovní paměti a vizuálního obsahu z vnějšího prostředí. V případě shody těchto dvou informací je fázová synchronizace theta a gamma vln silnější v pravé hemisféře. Pokud se informace neshodují, silnější fázová synchronizace je pozorována v levé hemisféře. (Holz et al. 2010) Spřažení gamma a theta vln se objevuje při

vybavení uložené informace a to v opačné fázi při vybavení za stejných kontextuálních podmínek jako byla informace kódována oproti vybavování v jiných podmínkách. Pokud jedinec nerozpozná objekt vůbec, synchronizace theta a gamma oscilací se neobjevuje. (Staudigl & Hanslmayr 2013) Jiná studie také ukazuje, že synchronizace amplitudy a fáze parietálních gamma vlna prefrontálních theta vln hraje roli ve vybavování epizodické paměti. (Köster et al. 2014)

## **Alfa aktivita**

Se zpracováním sémantické paměti ukazuje korelaci snížená alfa aktivita tedy zvýšená desynchronizace alfa vln. Tato desynchronizace nebyla pozorována při úlohách epizodické paměti, kde se naopak ukázala zvýšená theta synchronizace. (Klimesch et al. 1994) Alfa aktivita je provázena rozdíly ve výkonu mezi jedinci. Jedinci s horšími paměťovými schopnostmi vykazují nižší alfa aktivitu než úspěšnější jedinci a zároveň nižší alfa desynchronizaci při paměťových procesech. Tento rozdíl je nejnápadnější při vybavování, které patří mezi kognitivně náročnější procesy. (Klimesch 1997) Souvislost se sémantickou pamětí a kognitivní výkonností jedinců však mají zejména vyšší frekvence alfa vln. Jedinci s dobrými paměťovými schopnostmi mají v porovnání s jedinci s horšími paměťovými schopnostmi patrně vyšší celkovou hladinu alfa frekvence v klidu i během paměťových procesů. (Klimesch et al. 1997)

Překvapivým korelátem nalezeným v alfa frekvenci je zvyšující se alfa výkon s rostoucím zatížením pracovní paměti. Tento nález je v rozporu s obecným vědomím, že alfa frekvence je „klidovou“ aktivitou mozku. (Jensen et al. 2002)

## **Beta aktivita**

Při ukládání epizodické paměti v prostředí reálného světa byl pozorován výrazný pokles výkonu beta frekvence v levé frontální oblasti při zpracovávání položek, které si jedinec později pamatoval ve srovnání s nezapamatovanými položkami. (Griffiths et al. 2016) Nicméně zvýšená beta aktivita těsně před stimulem (ve frontálních, temporálních a okcipitálních

oblastech) ukázala korelaci s úspěšností uložení informace do paměti. (Salari & Rose 2016) To potvrzuje i fakt, že ve chvíli, kdy jedinec ví, že si má nadcházející stimuly zapamatovat, jeho mozková beta aktivita se ještě před prezentací stimulu zvyšuje. (Schneider & Rose 2016) Beta aktivita v pravých posteriorních oblastech zprostředkovává ukládání sémantické paměti respektive začleňování informací do kategorií. S přibývajícími informacemi relevantními k danému stimulu se výkon beta aktivity zvyšuje. (Morton & Polyn 2017)

## **Shrnutí**

V kódování paměti mají bez pochyby svou funkci theta a beta frekvence, přičemž výkony obou těchto frekvencí mají vliv na zapamatování informace ještě před prezentací stimulu. (Schneider & Rose 2016; Salari & Rose 2016) Theta aktivita je spojena zejména s percepcí a zpracováním stimulů a ukládáním epizodické paměti. (Clouter et al. 2017; Griffiths et al. 2016; Klimesch et al. 1994) Beta oscilace potom zpracovávají zejména sémantickou paměť, ale ukazují i negativní korelaci s kódováním epizodické paměti. (Griffiths et al. 2016; Morton & Polyn 2017)

Na zpracování sémantické paměti má také podíl alfa frekvence. (Klimesch et al. 1994) Tato frekvence zároveň určuje interindividuální rozdíly v paměťových schopnostech a to jak v klidovém stavu, tak během jednotlivých procesů paměti. (Klimesch 1997)

Ve vybavování zejména rozpoznávací paměti je pozorována synchronizace theta a gamma aktivity, která koreluje s kontextuálním vybavováním (Staudigl & Hanslmayr 2013), srovnáváním uložených a vnímaných informací (Holz et al. 2010) a s rozpoznávací pamětí (Köster et al. 2014).

### **2.2.2. Koreláty elektrodermální aktivity a paměti**

Ve studiu paměti se informace o EDA využívá jako ukazatel pozornosti. Důkazem pro vztah mezi pozorností a mírou kožní vodivosti může být například studie ukazující zvýšenou kožní vodivost při zpracování stimulů

týkajících se informací, které chce jedinec utajit oproti stimulům kontrolním. (Waid et al. 1978)

Kožní odpověď spojená s paměťovými procesy je nižší u starších lidí než u mladších, což naznačuje sníženou kognitivní pozornost spojenou se stářím jedince. Zvýšená EDA se váže k vybavování informace, ale ukazuje také spojitost s kódováním nových informací. Naopak nižší kožní odpověď je pozorována při zpracovávání již dříve spatřeného objektu. (Plouffe & Stelmack 1984) Souvislost kožní vodivosti s vybavováním ukazuje také studie dokazující korelaci zvýšené kožní vodivosti při vybavení prospektivní paměti tj. informace o plánované aktivitě nebo události. (Rothen & Meier 2014)

Zajímavým poznatkem je skutečnost, že u pacientů trpících prosopagnozií, což je neschopnost rozpoznat známé tváře způsobená poškozením mozku, byla prokázána zvýšená kožní vodivost při pozorování tváří pro ně známých, ačkoliv nebyli schopni tyto osoby identifikovat. To naznačuje autonomickou odpověď nervové soustavy k familiárním tvářím i bez zpracování asociačními centry v poškozeném mozku. (Tranel & Damasio 1985; Bauer & Verfaellie 1988)

### **3. Cíle diplomové práce**

Vzhledem k nesourodosti přístupů a výsledků dosavadního studia psychofyziologických korelátů emocí a paměti je hlavním cílem této práce poskytnout přehledný souhrn zejména spektrálních korelátů mozkové aktivity při jednotlivých emočních a paměťových procesech v jednotlivých oblastech mozku.

Tyto koreláty budou hodnoceny jako změny výkonů spekter v čase při prezentaci stimulů. Jeden z důvodů pro tento přístup je získání širšího pohledu na psychofyziologické reakce člověka, vzhledem k tomu, že některé kognitivní procesy mohou být rychlejší či pomalejší než jiné a jejich koreláty mohou být kódované právě v čase. Druhým důvodem sledování spektrálních změn v čase je případná aplikovatelnost v diagnostice mentálních poruch, kde právě rychlost reakce na stimul může naznačovat kognitivní nedostatky ukazující na konkrétní poruchu.

Jedním z dílčích cílů je vytvořit testovací sadu aplikovatelnou právě pro případnou diagnózu mentálních onemocnění zahrnující otestování paměťových i emočních procesů jedince. Stěžejním krokem pro případnou využitelnost těchto testů v klinické praxi je testování na zdravých lidech, což poskytne informace o korelátech kognitivních procesů u zdravé populace, které jsou nutné při hledání korelátů konkrétních mentálních poruch.



## **4. Materiál a metody**

### **4.1. Experimentální sezení**

Laboratorní sezení probíhalo s každým účastníkem jednotlivě v prostorách laboratoře katedry fyziologie na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy a trvalo 60-75 minut. Každý účastník byl v úvodu seznámen se základními informacemi o studii, byly mu zodpovězeny veškeré dotazy a poté byl požádán o podepsání informovaného souhlasu (Příloha č. 1). Následně byly dobrovolníkovi nasazeny senzory pro jednotlivá měření.

Po kalibraci oční kamery byly probandovi promítány jednotlivé testy. Před každým testem bylo dobrovolníkovi vysvětleno, jak bude nadcházející test probíhat a byl podrobně instruován k případným odpovědím náležitým k testu. Po absolvování všech testů byl proband zbaven všech senzorů, byly mu poskytnuty veškeré potřeby k umytí vlasů a byl odměněn za účast ve studii finanční poukázkou ve výši 150 Kč.

#### **4.1.1. Měření EEG a elektrodermální aktivity**

Měření probíhalo v elektricky odstíněné místnosti, aby nebylo rušeno okolním elektromagnetickým šumem. EEG záznamy byly měřeny 21-kanálovým elektroencefalografem Neuron-Spectrum 4/P od firmy Neurosoft. Ke snímání signálů z povrchu hlavy byly používány EEG čepice AKME o třech různých velikostech podle velikosti hlavy probanda. Pod elektrody v čepici byl nanášen EEG gel ADAGEL (ADAMED) pro dosažení impedance o maximální hodnotě 20 k $\Omega$  (většinou méně než 15 k $\Omega$ ). Elektrodermální aktivita byla snímána pasivními jednorázovými lepicími elektrodami (Medimaxtech) přilepenými na břicho ukazováku a prostředníku nedominantní ruky probanda a připojenými do přídatných GSR svodů přístroje Neuron-Spectrum 4/P. Záznamy z přístroje byly zapisovány pomocí softwaru Neuron-Spectrum.NET o vzorkovací frekvenci 5000 Hz.

#### **4.1.2. Eye-tracking**

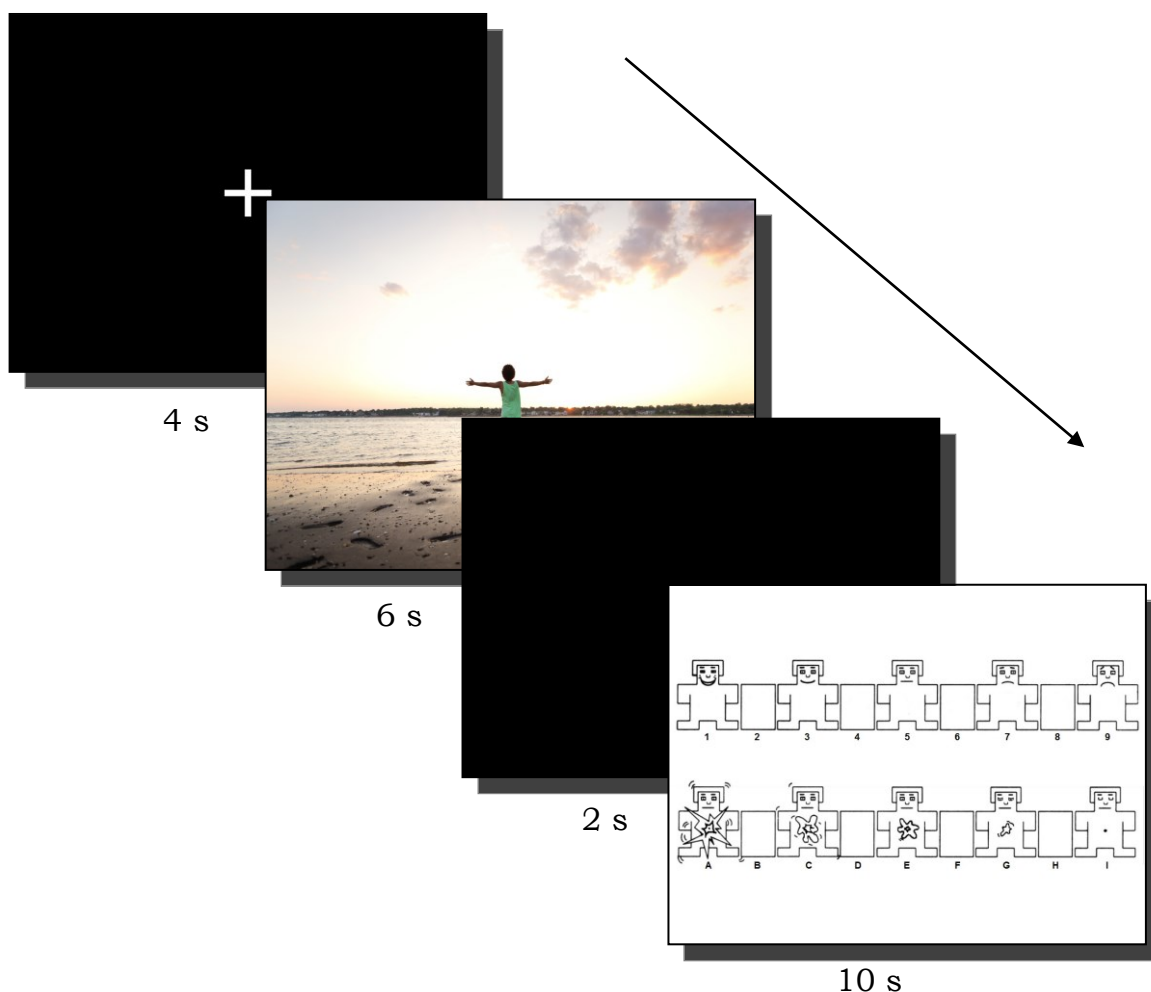
Eye-tracking byl zařazen do metodiky za účelem kontroly pozornosti probanda k jednotlivým stimulům. Dráha pohybu očí každého probanda byla zaznamenávána softwarem Tobii Studio 3.4.8 pomocí eye-trackingového

zařízení Tobii X2-30 připevněného uprostřed spodní hrany monitoru, kde byly testy promítány. Proband seděl ve vzdálenosti asi 60 cm od monitoru pohledem přímo na obrazovku a od experimentátora byl oddělen závěsem, aby jeho přítomností v místnosti nebyl rozptylován. Před každým měřením proběhla kalibrace zařízení pomocí Tobii Studia.

### **4.1.3. Emoční testy**

V emočních testech byly použity barevné fotografie ze standardizovaných databází vytvořených za účelem studia emocí u lidí. Emoční testy byly tvořeny z 30 obrázků vybraných z IAPS databáze (Lang et al. 2008) a 30 obrázků z NAPS databáze (Marchewka et al. 2014). Obrázky byly vybrány z obou databází tak, aby co možná nejrovnoměrněji pokryly celou škálu modelu emocí, respektive byly vybrány obrázky o různé valenci a intenzitě.

Design emočních testů je znázorněn na obrázku č. 3. Před každým obrázkem byl prezentován bílý fixační kříž na černém pozadí (4 s), poté následovala prezentace obrázku (6 s) a za ní krátká prodleva v podobě černé obrazovky (2 s), po které následovalo hodnocení emoce, kterou daný obrázek vyvolal pomocí dvou řad manikínů, představujících osu valence a intenzity (10s). Manikini (Bradley & Lang 1994) jsou postavičky vytvořené a používané pro usnadnění subjektivního hodnocení emocí probandů na základě dimenzionálního modelu emocí. Během prezentace těchto postaviček měla testovaná osoba slovně ohodnotit vyvolanou emoci pomocí čísla a písmena uvedeného pod příslušnou postavičkou, která nejnázorněji vyobrazila příslušnou emoci.



**Obrázek 3** – Design prezentace emočních testů: fixační kříž (4 s), afektivní obrázek (6 s), prázdná obrazovka (2 s), hodnocení emoce pomocí manikínů (10 s)

Probandi byli instruováni ke sledování a hodnocení obrázků ještě před samotným testem, přičemž si vyzkoušeli sekvenci 3 obrázků nanečisto pro ujištění, že instrukcím správně rozuměli. Instrukce byly uniformní pro každého jedince (příloha č. 2) a jednalo se o co nejpodobnější překlad instrukcí převzatý z testovacích sezení IAPS databáze (Lang et al. 2008) z důvodu eliminace ovlivnění hodnocení probandů způsobem podání instrukcí.

Metodika testu byla stanovena na základě zkušebního testu s alternativní databází obrázků, která byla vytvořena z obrázků volně dostupných na internetu. I tato alternativní databáze byla postavena tak, aby rovnoměrně pokrývala celou škálu dimenzionální kategorizace emocí, které měla obrázky vyvolávat. Podle těchto zkušebních sezení byla

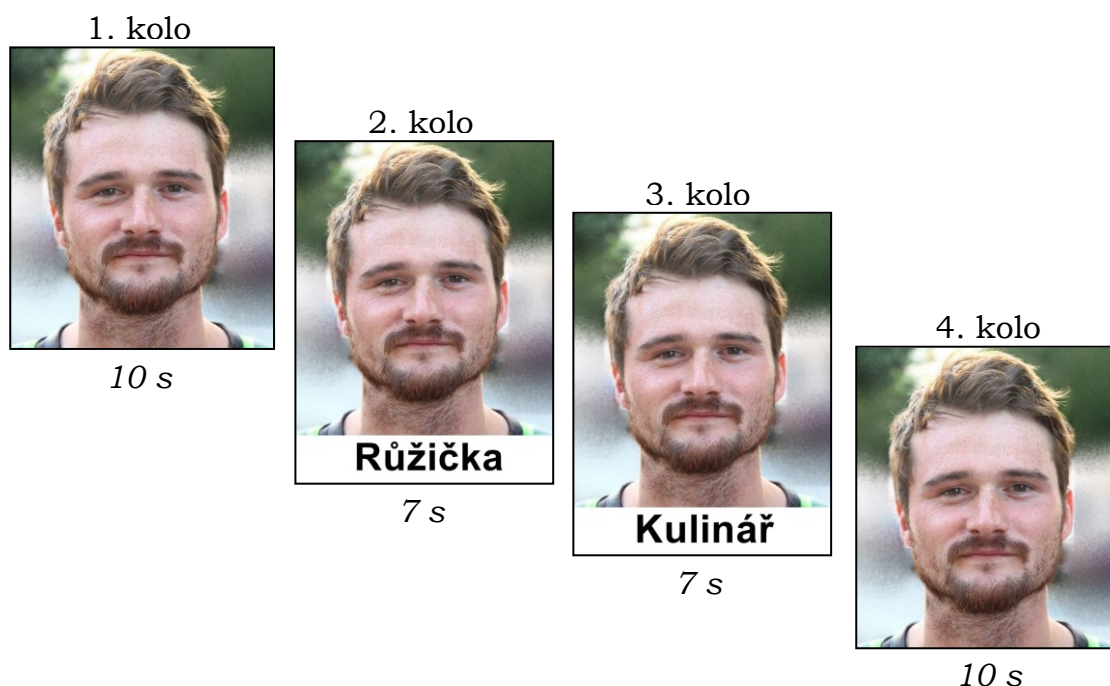
upravována doba prezentace a hodnocení obrázků s ohledem na metodiku ve stávající literatuře.

#### **4.1.4. Paměťové testy**

Paměťový test obsahoval části testující jednotlivé paměťové procesy včetně aktivního vybavování. Instrukce k testu jsou k dispozici v příloze č. 2.

Základem testu bylo zapamatovat si přiřazená jména a koníčky k obličejům neznámých lidí. Tento test byl vytvořen z 12 fotografií lidí v přirozeném prostředí (zpravidla v exteriéru), ke kterým byla přiřazena obvyklá česká příjmení a záliby. Všechny obličeje byly na fotografiích zpredu hledící přímo do fotoaparátu bez výrazné mimiky v tváři a každá fotografie zahrnovala jen hlavu osoby bez postavy. Na fotografiích bylo 6 žen a 6 mužů v rovnoměrném věkovém rozložení. V prvním kole tohoto testu byly všechny obličeje prezentovány po 10 s bez jakékoliv asociace. Následovalo kolo s přiřazenými příjmeními, ve kterém byla každá fotografie i s příjmením prezentována 7 s, přičemž po každé čtveřici fotografií následovala obrazovka s těmito 4 fotografiemi i příslušnými příjmeními, která trvala 8 s. Třetí kolo bylo obdobné jako druhé, jen byly místo jmen s obličejí prezentovány přiřazené záliby. Poslední vybavovací kolo obsahovalo samotné obličeje bez přiřazených příjmení a zálib. Každá fotografie byla prezentována 10 s, kdy měl proband za úkol vybavit si příjmení a zálibu dané osoby pouze ve své hlavě. Potom následovala 5s obrazovka s výzvou pro slovní odpověď. Fotografie obličejů byly v každém kole prezentovány v jiném pořadí pro zabránění zapamatování sekvence informací namísto žádoucích asociací.

Před použitím testu v samotném měření byla jeho metodika testována na členech laboratoře a optimalizována. Byla například upravována délka prezentace jednotlivých částí i celkový počet obličejů za účelem rovnoměrného skóre v zapamatovaných a nezapamatovaných asociacích.



**Obrázek 4** – Presentace obličejů během jednotlivých kol paměťového testu: 1. kolo sloužilo k seznámení s jednotlivými obličejí, v 2. kole si probandi měli k obličejům zapamatovat jejich jména, ve 3. kole pak jejich záliby a 4. kolo sloužilo k vybavení těchto informací, kdy bezprostředně po prezentaci obličeje byli probandi vyzváni k odpovědi.

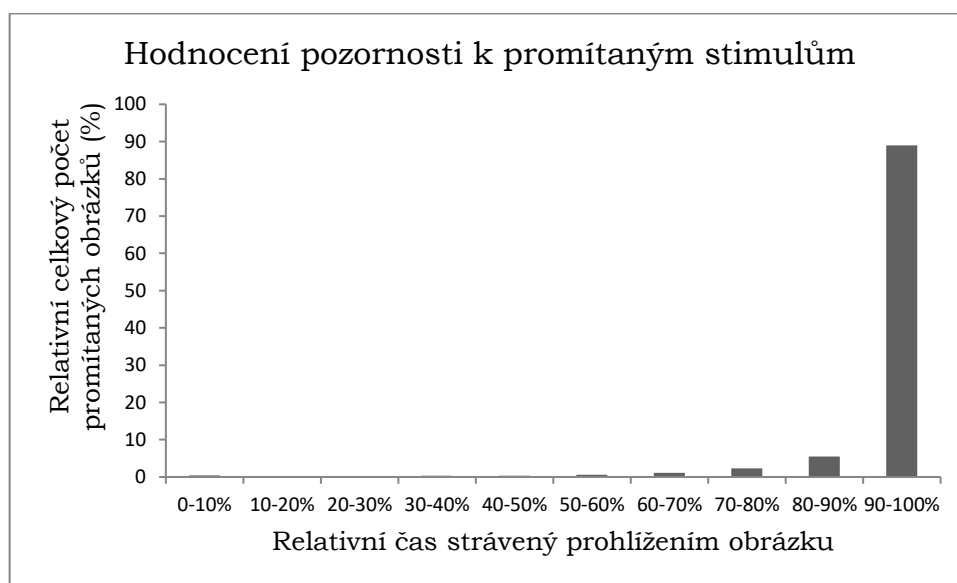
#### 4.1.5. Charakteristika souboru

Soubor testovaných osob zahrnoval dobrovolníky ve věku 18-29 let ( $M = 22,82$ ,  $SD = 2,27$ ). Celkový počet účastníků byl 100, z toho 50 mužů a 50 žen. Dobrovolníci byli rekrutováni pomocí letákové inzerce na univerzitách a formou osobní komunikace. Vylučovacími kritérii pro účast ve studii byla jakákoliv minulá či současná neurologická či psychiatrická onemocnění. Každý účastník byl požádán, aby se v den měření vyhnul požívání alkoholických nápojů, kofeinu a nikotinu. Kompenzací za účast v experimentu byla pro každého účastníka finanční poukázka v hodnotě 150 Kč.

## 4.2. Zpracování dat

### 4.2.1. Eye-trackingová data

Z eye-trackingových dat byla vypočítána celková doba návštěvy daného stimulu a z analýzy dalších měření byla vyloučena data, kterým proband nevěnoval dostatek pozornosti. Hranice pro vyloučení takových dat byla určena na základě výpočtu celkového počtu promítaných obrázků (=počet obrázků v testu násoben počtem dobrovolníků, kteří testem prošli) a procentuálních podílů délek času stráveného prohlížením obrázku oproti z celkové doby jeho promítání. Výsledky pro všechna jednotlivá kola paměťových i emočních testů ukázaly, že délka času stráveného prohlížením obrázku byla u více než 80% všech promítaných obrázků delší než 90% celkové doby jeho promítání. Na základě těchto výsledků byly vyloučeny z analýzy elektrofyziologická data v případě stimulů, na kterých proband strávil méně než 90% celkového času jejich trvání. Pro příklad jsou uvedeny výsledky výpočtů z dat emočních testů (obr 5). Konkrétní hranice pro vyloučení dat z další analýzy na základě eye-trackingu pro každý test jsou uvedeny v tabulce č. 2.



**Obrázek 5** – Výsledky hodnocení eye-trackingových dat pro emoční testy. Tento graf ukazuje, že ve více než 90 % prezentací stimulů byl čas strávený jeho prohlížením delší než 90 % jeho celkové délky promítání.

**Tabulka 2** – Celková doba promítání stimulů v jednotlivých testech a stanovená minimální doba strávená na daném stimulu pro další analýzu dat.

	Emoční testy	Test asociace obličejů, jmen a zálib			
		1. kolo	2. kolo	3. kolo	4. kolo
Celková doba zobrazení stimulu	6 s	10 s	7 s	7 s	10 s
Minimální doba strávená na stimulu	5,4 s	9 s	6,3 s	6,3 s	9 s

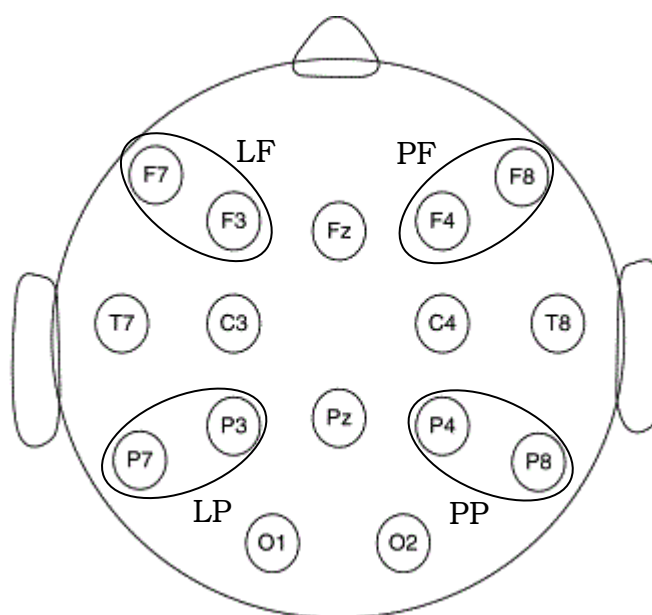
### 4.2.2. EEG data

Elektroencefalografická data mohou být hodnocena z hlediska tvaru a amplitudy vln nebo různými způsoby zpracování frekvenčních spekter, což je typ analýzy, která nás v této práci bude zajímat. Spektrální analýza sleduje rytmickou aktivitu mozku, která je měřitelná na povrchu hlavy v důsledku synchronizované aktivity neuronů. V této práci byla data hodnocena na základě spektrálních změn v čase v různých oblastech mozku.

Pro účely této diplomové práce byla zpracována EEG data 40 probandů. Předzpracování EEG dat bylo prováděno v Matlabu za pomoci interaktivního toolboxu EEGLab. Data byla resamplována na vzorkovací frekvenci 1000 Hz a byl aplikován vysokofrekvenční filtr s horní propustností 0,1 Hz. Veškerá data byla vizuálně zkontrolována a byly odstraněny úseky se závažnými artefakty způsobenými pohybem či řečí probanda nebo jiným externím faktorem, které nelze ze záznamů odstranit bez narušení záznamů samotné mozkové aktivity. Z dat byly taktéž odstraněny případné rušivé elektrody. Poté byl na data aplikován nízkofrekvenční filtr s dolní propustností 50 Hz. Následně byla data převedena na nezávislé komponenty (ICA). Pomocí ICA byly odstraněny artefakty fyziologického původu (oční pohyby, mrkání, činnost srdce) a případné generické diskontinuity. Ke snadnější identifikaci komponent obsahující artefakty byl využit plugin ADJUST implementovaný do EEGLabu. Z analýzy byly vyloučeny záznamy obsahující příliš mnoho artefaktů.

Z takto předzpracovaných dat byly vypočítány výkony spektrálních pásem z každých 500 ms prezentace stimulu. Výkony frekvencí byly vypočítány pro pásma theta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta1 (12-16 Hz), beta2 (16-20 Hz) a beta3 (20-30 Hz) z jednotlivých elektrod (F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, T7, T8, Pz, P3, P4, P7, P8, O1, O2). Výkon každého frekvenčního pásma byl normalizován výkonem celého spektra.

Povrch hlavy byl rozdělen do 12 oblastí zájmu, pro které byl výkon spekter v každém časovém úseku dán výkonem elektrody představující danou oblast či vypočítán zprůměrováním výkonů elektrod zahrnutých do dané oblasti (obr. č. 6): levá frontální (F3, F7), centrální frontální (Fz), pravá frontální (F4, F8), levá temporální (T7), levá centrální (C3), pravá centrální (C4), pravá temporální (T8), levá parietální (P3, P7) centrální parietální (Pz), pravá parietální (P4, P8), levá okcipitální (O1) a pravá okcipitální (O2).



**Obrázek 6** – Rozložení elektrod a seskupení na 12 oblastí zájmu (LF – levá frontální, PF – pravá frontální, LP – levá parietální, PP – pravá parietální)

Data byla rozdělena do kategorií podle valence a intenzity emocí a podle počtu zapamatovaných asociací v paměťovém testu. Změny výkonu v čase byly statisticky hodnoceny pro každou elektrodu a frekvenční pásmo pomocí dvoucestné ANOVY.



Pro emoční test byla do statistické analýzy zahrnuta data 98 účastníků. Dvoucestnou ANOVOU byl sledován efekt valence a intenzity na jednotlivá pásma a jejich výkonové změny ve všech oblastech zájmu.

Z prvního kola (obličeje) paměťového testu byla hodnocena data 96 účastníků, z druhého kola (jména) 92 účastníků, z třetího kola (zájmy) 95 účastníků a z posledního kola (vybavování asociací) 90 účastníků. Dvoucestnou ANOVOU byl zjišťován rozdíl výkonových změn jednotlivých pásem mezi zapamatovaným a nezapamatovanými asociacemi a počtem zapamatovaných asociací v případě vybavovacího kola. V prvním kole byla sledována spojitost změn frekvenčních výkonů s předpokladem později zapamatovaných nebo nezapamatovaných asociací.

### **4.2.3. Elektrodermální data**

Elektrodermální data byla analyzována v programu AcqKnowledge (BIOPAC Systems Inc., Goleta, CA, USA). Data byla resamplována na 156 Hz a artefaktová data byla vyloučena z analýzy. Dále byl aplikován frekvenční filtr s horní propustností 0,05 Hz a dolní propustností 10 Hz. Prahová hodnota pro nalezení specifických elektrodermálních odpovědí byla nastavena na 10% maximální amplitudy analyzovaného úseku dat na základě studie Kima a kol. (Kim et al. 2004). Ze specifických odpovědí byly považovány za příslušející ke stimulům pouze ty, které začínaly v rozmezí 1 – 4 s od počátku stimulu (délka latence).

Elektrodermální odpovědi byly hodnoceny z hlediska délky jejich latence, rychlosti SCR a velikosti SCR (amplituda). Všechny tyto parametry byly získány pomocí softwaru AcqKnowledge. Z důvodu vysoké interindividuální variability byly hodnoty SCR amplitudy normalizovány pro každého probanda pomocí z-skóru. Z analýzy byly z každého testu vyloučeny data 3 účastníků z důvodu vysokého výskytu artefaktů.

Z emočních testů byla zpracována elektrodermální data všech 97 dobrovolníků z části emočního testu obsahujícího dohromady 60 stimulů. Data byla rozdělena zvlášť do skupin podle hodnot valence a intenzity a na tyto skupiny byla aplikována jednocestná ANOVA pro zjištění variability EDA mezi emocemi s rozdílnou valencí či intenzitou.

Do zpracování byla použita data 97 účastníků paměťového testu. Data z jednotlivých kol paměťového testu byla rozdělena do skupin podle toho, zda byla příslušná informace později správně vybavena či nikoli. Data byla vyhodnocena dvouvýběrovým nepárovým t-testem. Odpovědi z posledního vybavovacího kola byla rozdělena na 3 skupiny (nevybaveno x vybavena 1 asociace x vybaveny obě asociace). Pro statistické zpracování dat z tohoto posledního kola byla zvolena jednocestná ANOVA.

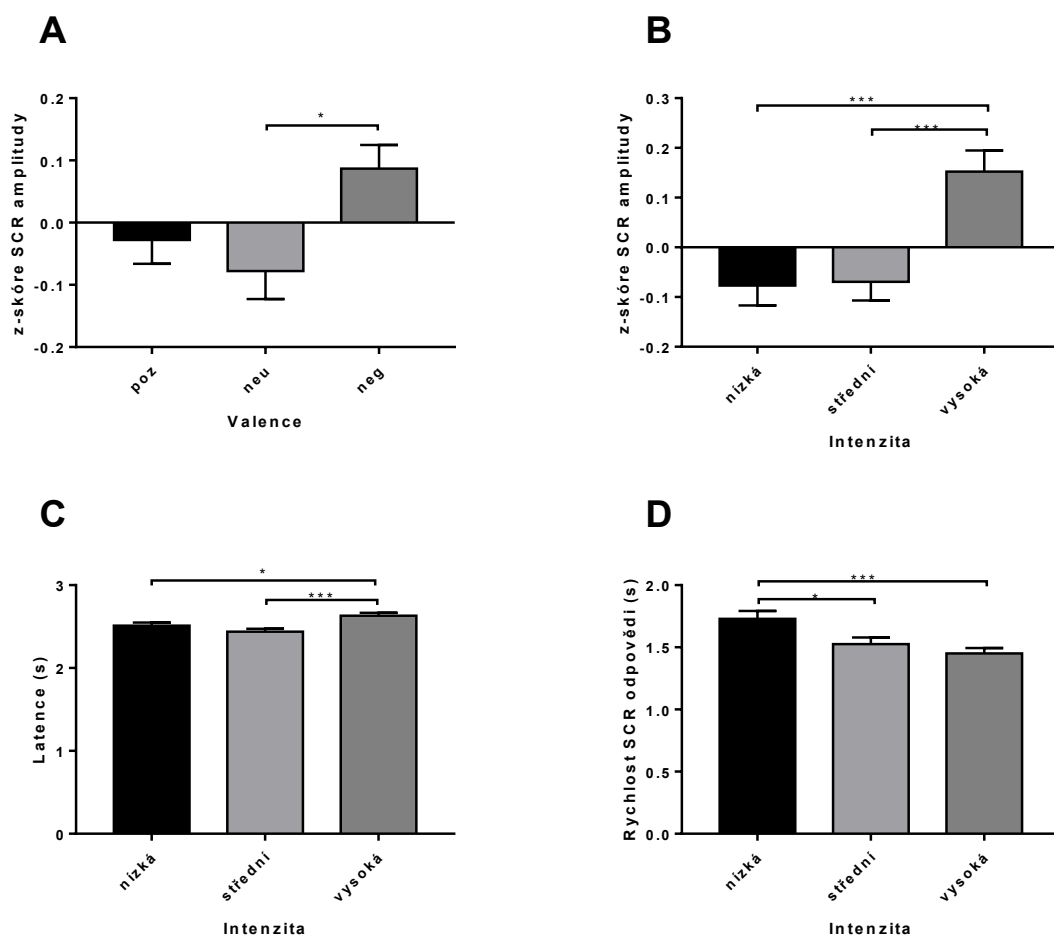
## **5. Výsledky**

### **5.1. Koreláty emocí**

#### **5.1.1. Elektrodermální koreláty emocí**

Statistická analýza (jednocestná ANOVA) elektrodermálních dat prokázala signifikantní souvislost amplitudy s valencí emoce ( $F(2, 1641) = 4,39, p < 0.05$ ). Negativní stimuly ukázaly signifikantně vyšší z-skóre amplitudy SCR oproti neutrálním stimulům. Vyšší amplituda byla také pozorována u pozitivních stimulů oproti neutrálním, ale tento výsledek se neukázal statisticky signifikantním (obr. 7A). Neprokázal se efekt valence na latenci ( $F(2, 1642) = 1,882, p > 0.05$ ) ani rychlost SCR ( $F(2, 1642) = 0,2844, p > 0.05$ ).

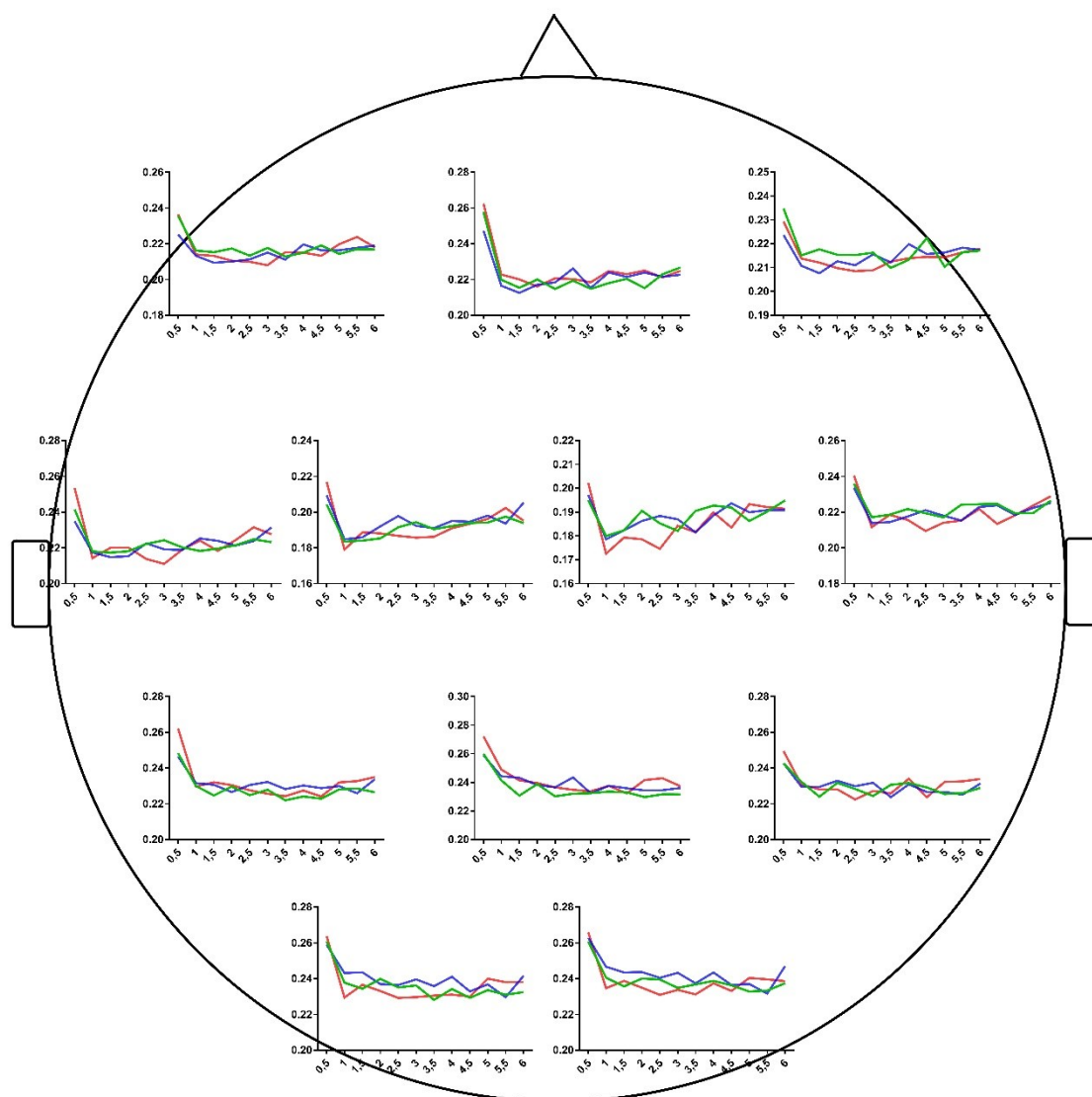
Signifikantní souvislost byla nalezena mezi intenzitou a z-skórem SCR amplitudy ( $F(2, 1642) = 10,81, p < 0.05$ ). Emoce s vyšší intenzitou vykazovaly vyšší amplitudu než emoce se střední a nízkou intenzitou (obr. 7B). Signifikantní rozdíl nebyl nalezen mezi nízkou a střední intenzitou emoce. Signifikantní výsledek ukázal i efekt intenzity na latenci SCR ( $F(2, 1643) = 7,993, p < 0.05$ ), kde byla latence delší u emocí s vysokou intenzitou oproti emocím se střední a nízkou intenzitou (obr. 7C). Emoce s nízkou intenzitou také ukázaly pomalejší nárůst SCR oproti emocím se střední a vysokou intenzitou ( $F(2, 1643) = 7,051, p < 0.05$ ).



**Obrázek 7** – Elektrodermální odpovědi na valenci a intenzitu emocí. **A** – Efekt valence (poz – pozitivní, neu – neutrální, neg – negativní) na z-skóre SCR amplitudy,  $\pm$  SEM,  $F(2, 1641) = 4,39$ ,  $p < 0.05$ , ANOVA. **B** – Efekt intenzity na z-skóre SCR amplitudy,  $\pm$  SEM,  $F(2, 1642) = 10,81$ ,  $p < 0.05$ , ANOVA. **C** – Efekt intenzity na latenci,  $\pm$  SEM,  $F(2, 1643) = 7,993$ ,  $p < 0.05$ , ANOVA, **D** – Efekt intenzity emoce na rychlost SCR,  $\pm$  SEM,  $F(2, 1643) = 7,051$ ,  $p < 0.05$ , ANOVA.

### 5.1.2. Spektrální EEG koreláty emocí

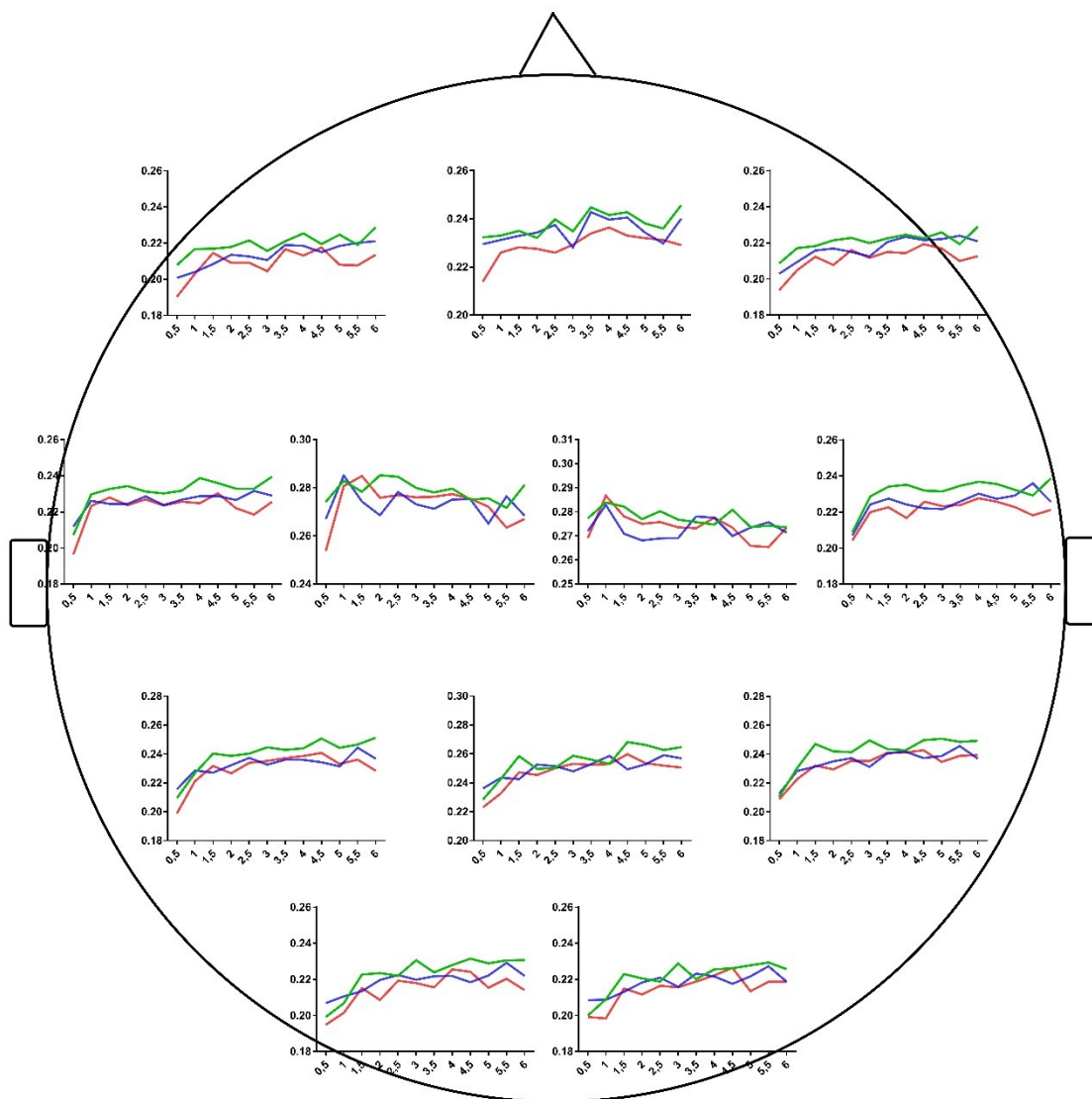
Dvoucestná ANOVA ukázala signifikantní rozdíl v pravé centrální oblasti mezi jednotlivými kategoriemi intenzity emoce ve změnách theta výkonu ( $F(2, 59100) = 3,214$ ,  $p < 0.05$ ). Emoce s vyšší intenzitou vykazují větší pokles theta výkonu 1 - 2,5 s od počátku stimulu. Výkonové změny v čase v theta pásmu spojené s intenzitou emocí zobrazuje obrázek č. 8.



**Obrázek 8** – Relativní změny výkonu theta pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé intenzitě emocí. Zelená – nízká intenzita, modrá – střední intenzita, červená – vysoká intenzita.

Alfa aktivita ukázala významnou souvislost s intenzitou emoce (obr. 9). Větší nárůst výkonu byl pozorován v souvislosti s nízkou intenzitou emoce v levé frontální ( $F(2, 59100) = 28,11, p < 0.05$ ), pravé frontální ( $F(2, 59100) = 24,19, p < 0.05$ ), levé okcipitální ( $F(2, 59100) = 18,86, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální ( $F(2, 59100) = 10,82, p < 0.05$ ) oblasti. Výrazněji vyšší nárůst výkonu alfa pásma při nízké intenzitě emocí oproti střední a vysoké intenzitě byl pozorován v pravé temporální ( $F(2, 59100) = 22,05, p < 0.05$ ), levé temporální ( $F(2, 59100) = 16,31, p < 0.05$ ), levé parietální ( $F(2, 59100) = 24,71, p < 0.05$ ) a pravé parietální ( $F(2, 59100) = 20,26, p < 0.05$ ) oblasti a výraznější pokles alfa výkonu při emocích s vysokou intenzitou v porovnání

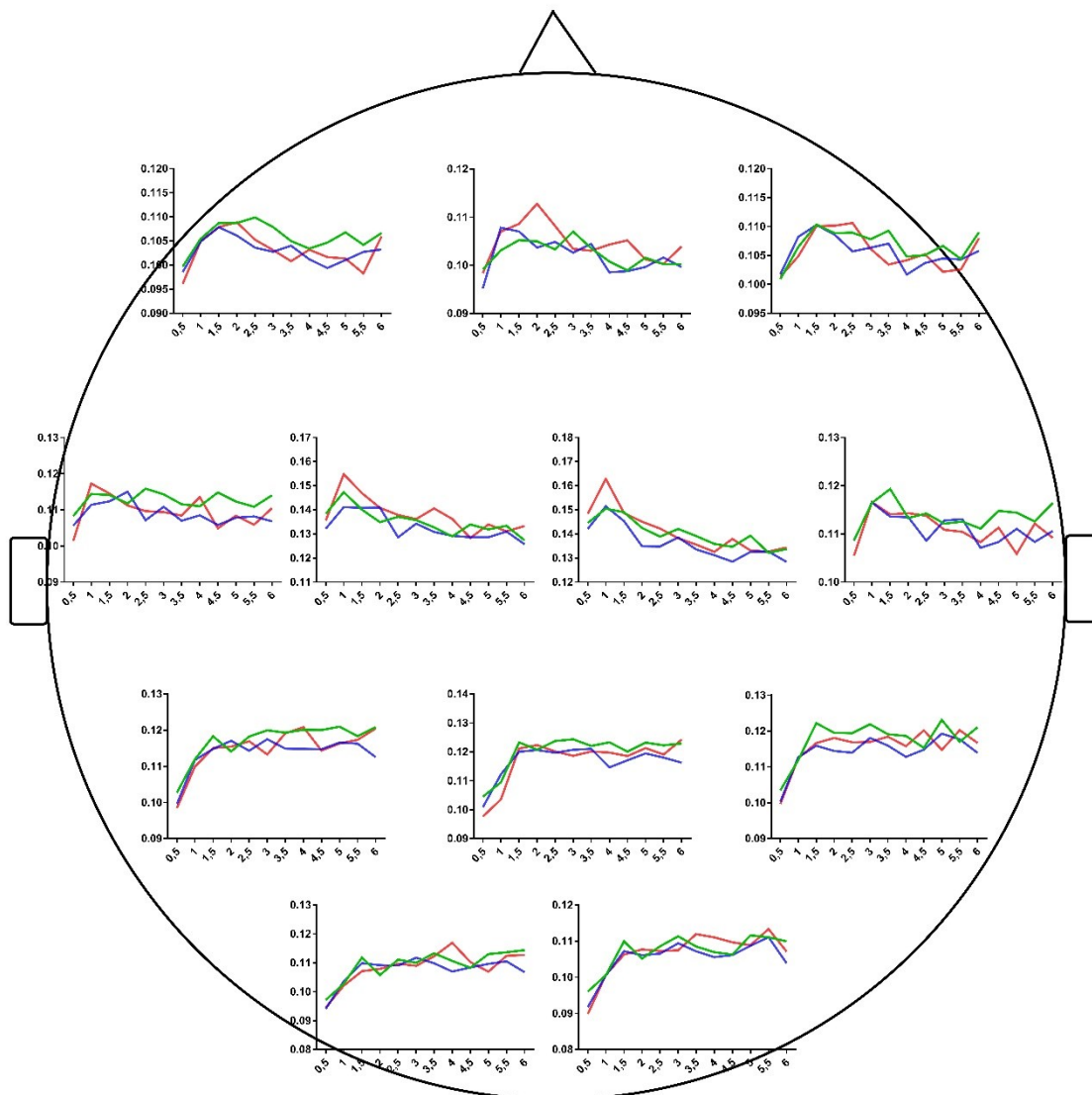
se střední a nízkou ukázala centrální frontální oblast ( $F(2, 59100) = 14,49$ ,  $p < 0.05$ )



**Obrázek 9** – Relativní změny výkonu alfa pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé intenzitě emocí. Zelená – nízká intenzita, modrá – střední intenzita, červená – vysoká intenzita.

V levé hemisféře byl pozorován mírně vyšší výkon beta1 pásma při nízké intenzitě emoce oproti střední a vysoké intenzitě od 2,5 s od počátku stimulu (levá frontální oblast ( $F(2, 59100) = 8,403$ ,  $p < 0.05$ ), levá temporální oblast ( $F(2, 59100) = 9,948$ ,  $p < 0.05$ ), levá parietální oblast ( $F(2, 59100) = 7,594$ ,  $p < 0.05$ ). V levé centrální ( $F(2, 59100) = 10,49$ ,  $p < 0.05$ ) a pravé centrální ( $F(2, 59100) = 9,555$ ,  $p < 0.05$ ) oblasti byl pozorován výrazně vyšší krátkodobý nárůst beta1 výkonu 1 s od počátku stimulu v případě emocí s vysokou

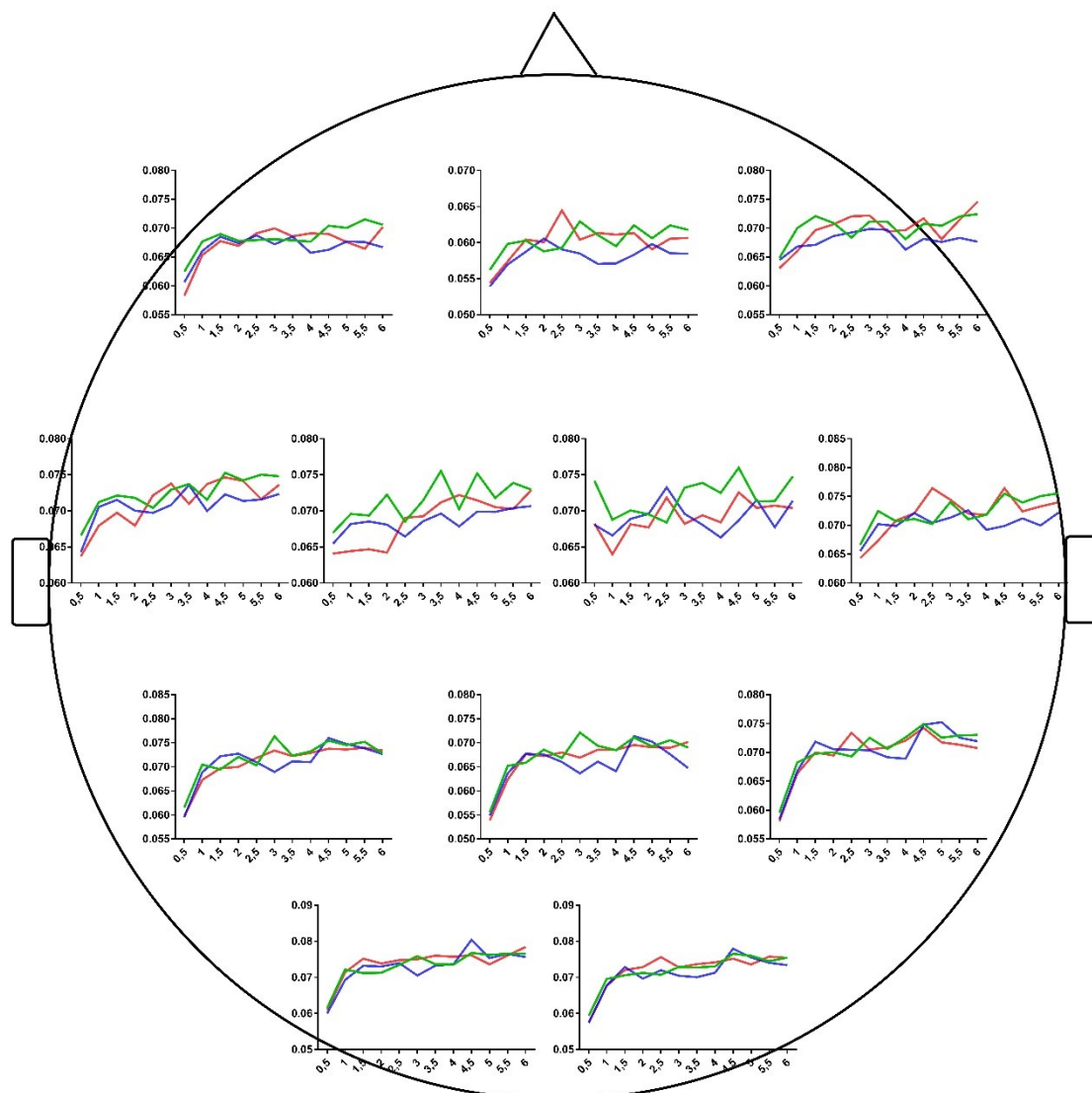
intenzitou oproti střední a nízké. Nárůst beta1 při vysoké intenzitě byl pozorován také v centrální frontální oblasti 2 s od počátku stimulu ( $F(2, 59100) = 5,041, p < 0.05$ ). Změny výkonu beta1 pásma v čase v souvislosti s intenzitou emocí zobrazuje obrázek č. 10.



**Obrázek 10** – Relativní změny výkonu beta1 pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé intenzitě emocí. Zelená – nízká intenzita, modrá – střední intenzita, červená – vysoká intenzita.

Změny ve výkonu beta2 pásma v souvislosti s intenzitou emocí ukazuje obrázek č. 11. Nižší výkon beta2 byl pozorován 2 s od počátku stimulu v levé centrální oblasti při vysoké intenzitě v porovnání se střední a nízkou ( $F(2, 59100) = 11,21, p < 0.05$ ). V počátku stimulu je obdobný trend pozorován též v pravé centrální oblasti. V úseku 3 - 4,5 s od počátku stimulu

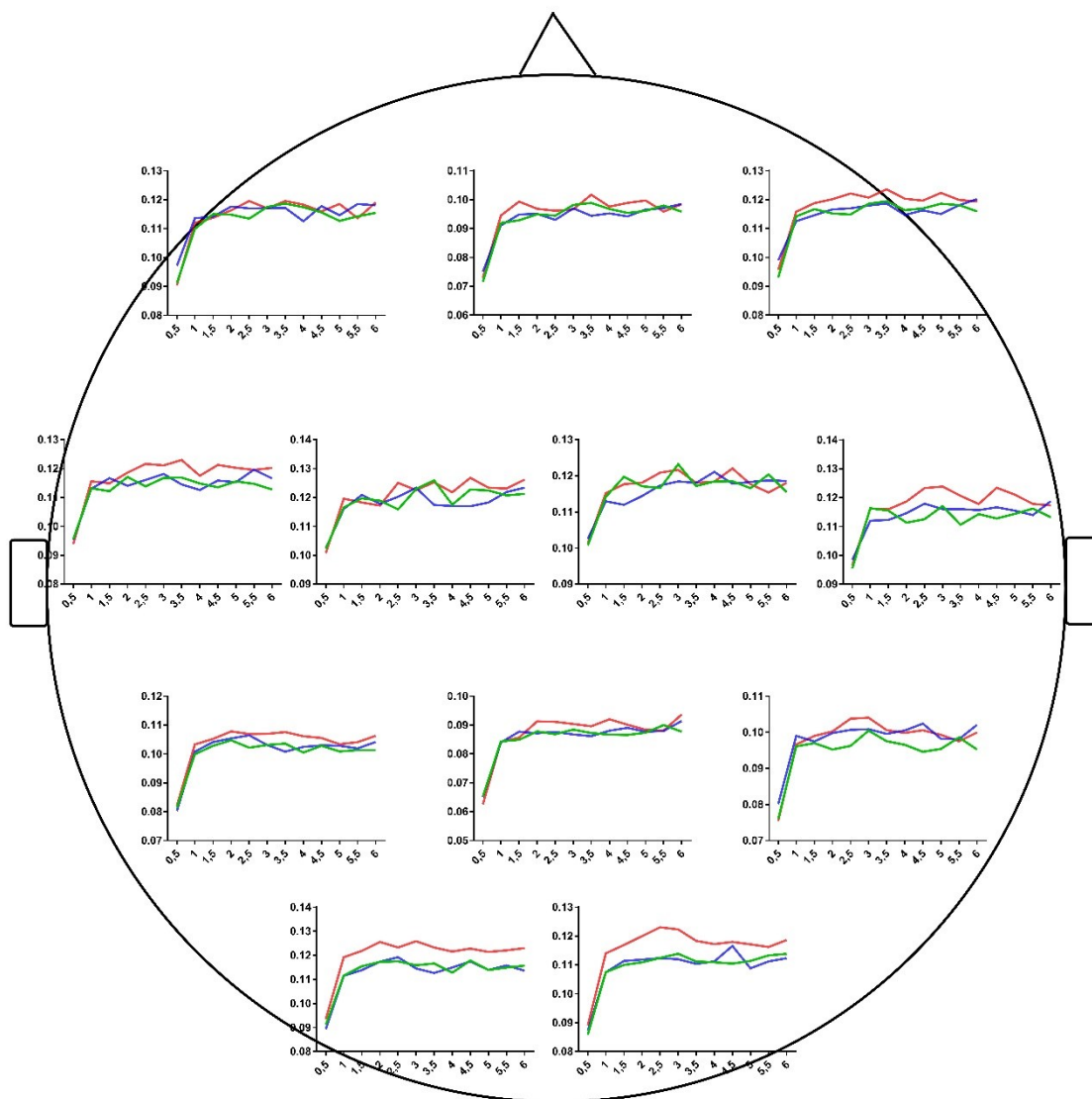
vykazuje beta2 pásmo vyšší výkon při emocích o nízké intenzitě ( $F(2, 59100) = 11,03, p < 0.05$ ).



**Obrázek 11** – Relativní změny výkonu beta2 pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé intenzitě emocí. Zelená – nízká intenzita, modrá – střední intenzita, červená – vysoká intenzita.

Beta3 pásmo prokázalo vyšší výkon při vysoké intenzitě emoce v různých časových úsecích v několika oblastech mozku (obr 12). Tento rozdíl byl pozorován zejména v pravé okcipitální ( $F(2, 59100) = 34,44, p < 0.05$ ) a levé okcipitální ( $F(2, 59100) = 38,04, p < 0.05$ ) oblasti a dále v pravé frontální ( $F(2, 59100) = 10,29, p < 0.05$ ), pravé temporální ( $F(2, 59100) = 17,13, p < 0.05$ ), levé temporální ( $F(2, 59100) = 10,88, p < 0.05$ ),

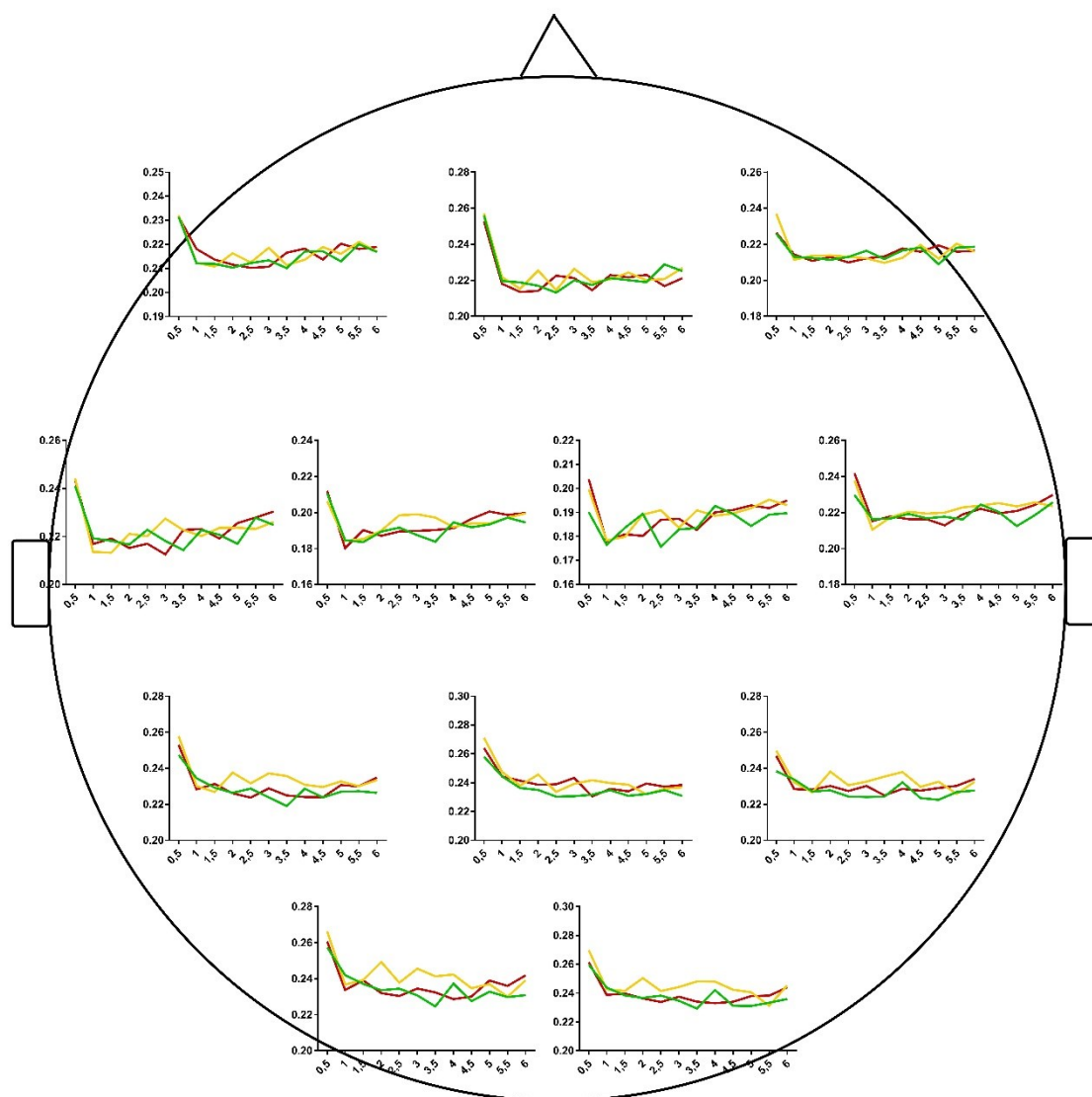
pravé parietální ( $F(2, 59100) = 13,58, p < 0.05$ ), levé parietální ( $F(2, 59100) = 10,63, p < 0.05$ ) a centrální parietální ( $F(2, 59100) = 4,068, p < 0.05$ ) oblasti.



**Obrázek 12** – Relativní změny výkonu beta3 pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé intenzitě emocí. Zelená – nízká intenzita, modrá – střední intenzita, červená – vysoká intenzita.

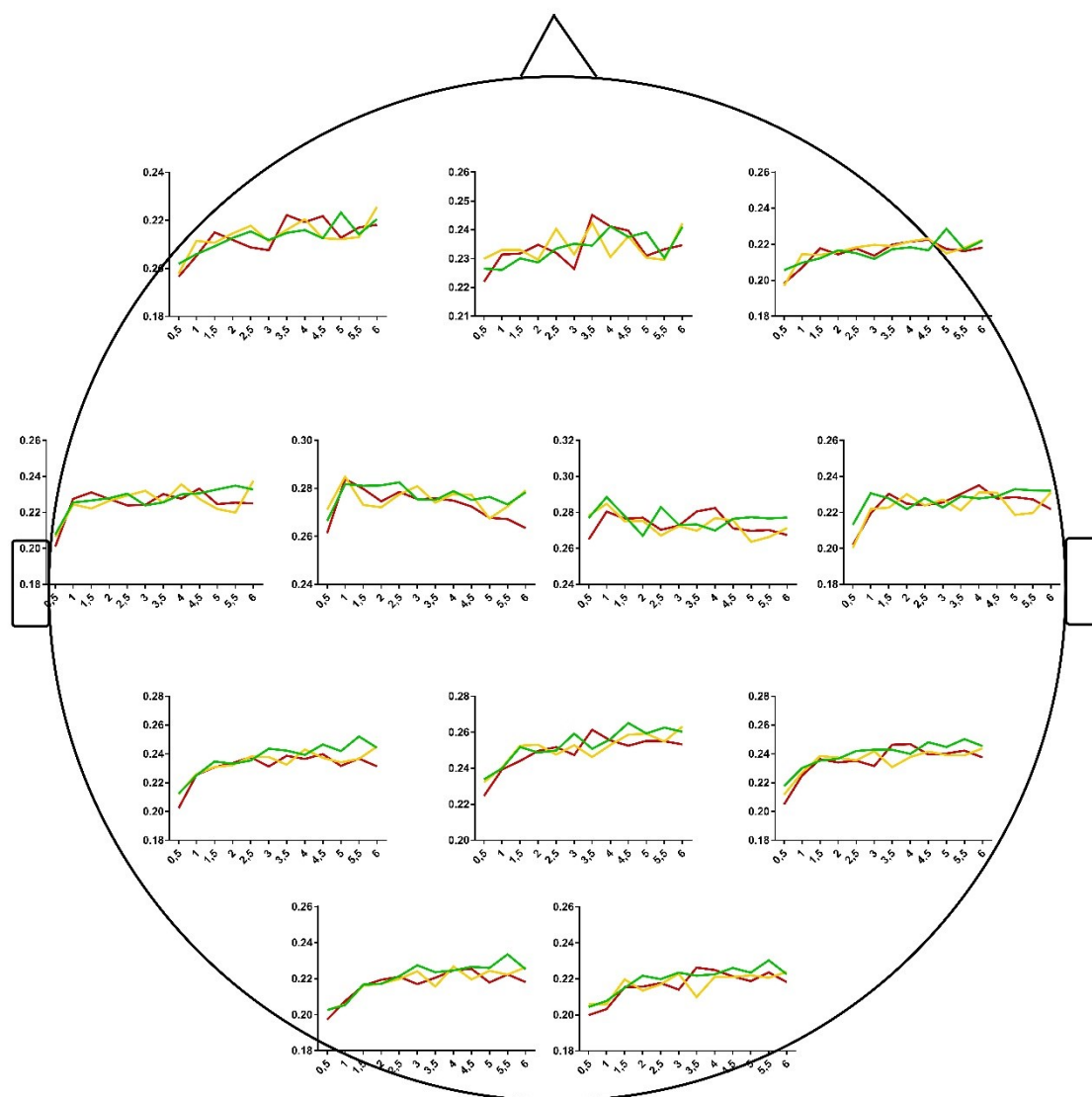
Spojitost valence emocí s výkonem theta pásma byla pozorována v pravé okcipitální ( $F(2, 59088) = 15,29, p < 0.05$ ), levé okcipitální ( $F(2, 59088) = 11,46, p < 0.05$ ) a levé parietální oblasti ( $F(2, 59088) = 10,6, p < 0.05$ ), kde emotivní stimuly oproti neutrálním vykazovaly nižší theta výkon 2 – 4 s od počátku stimulu (obr 13).





**Obrázek 13-** Relativní změny výkonu theta pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé valenci emocí. Zelená – pozitivní, žlutá – neutrální, červená – negativní.

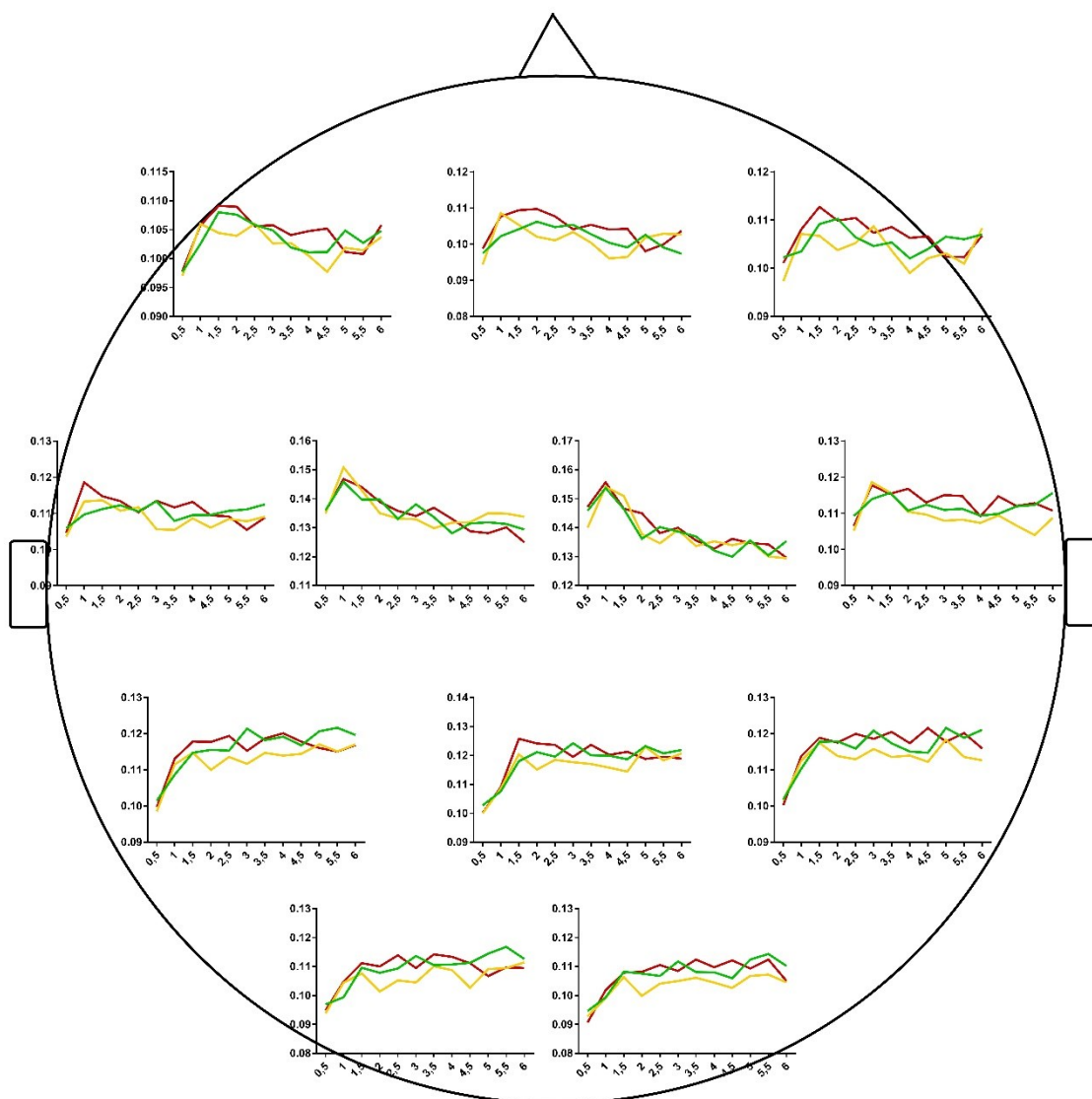
Mírný nárůst alfa výkonu při pozitivních emocích byl pozorován 5,5 s po počátku stimulu v levé parietální ( $F(2, 59088) = 8,906, p < 0.05$ ) a levé okcipitální ( $F(2, 59088) = 3,079, p < 0.05$ ) oblasti. Výrazně rychlý nárůst alfa výkonu je pozorován v centrální frontální a levé frontální oblasti 3 s po počátku stimulu (obr 14).



**Obrázek 14** – Relativní změny výkonu alfa pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé valenci emocí. Zelená – pozitivní, žlutá – neutrální, červená – negativní.

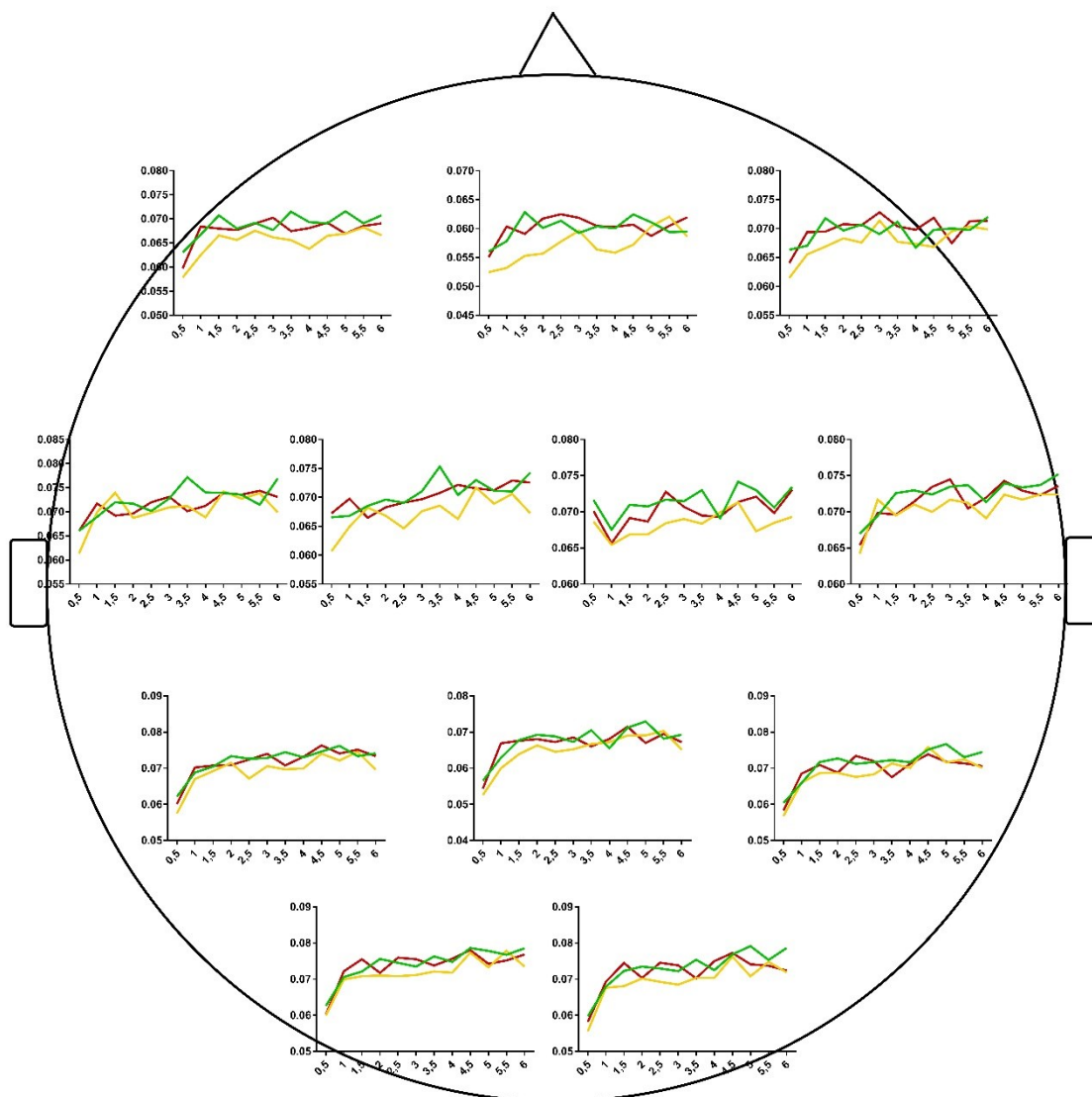
Mírně vyšší výkon beta1 pásma při negativní valenci emocí byl pozorován ve frontálních oblastech (obr. 15). Signifikantní rozdíl mezi negativní a neutrální valenci byl nalezen 4 s po počátku stimulu v centrální frontální ( $F(2, 59088) = 6,33, p < 0.05$ ) a pravé frontální ( $F(2, 59088) = 6,795, p < 0.05$ ) oblasti, o půl sekundy později v levé frontální ( $F(2, 59088) = 3,647, p < 0.05$ ) oblasti. Vyšší výkon beta1 pásma při negativních emocích byl také pozorován v pravé temporální oblasti ( $F(2, 59088) = 8,454, p < 0.05$ ), kde se následně v pozdější fázi stimulace (5,5 s od počátku) ukázal navíc signifikantní rozdíl mezi emotivními a neutrálními stimuly. V levé temporální oblasti byl nalezen signifikantní rozdíl mezi negativní a pozitivní emocí 1 s po

začátku stimulace, kdy negativní emoce opět vykazovaly větší nárůst beta1 výkonu ( $F(2, 59088) = 3,378, p < 0.05$ ). Mírnější nárůst byl potom také sledován o půl sekundy později v centrální parietální oblasti ( $F(2, 59088) = 4,786, p < 0.05$ ). Rozdíly ve výkonu beta1 mezi emočně zabarvenými a neutrálními stimuly byly nalezeny v levé parietální ( $F(2, 59088) = 8,505, p < 0.05$ ), pravé parietální ( $F(2, 59088) = 9,265, p < 0.05$ ), levé okcipitální ( $F(2, 59088) = 10,3, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální ( $F(2, 59088) = 14,03, p < 0.05$ ) oblasti (obr 15).



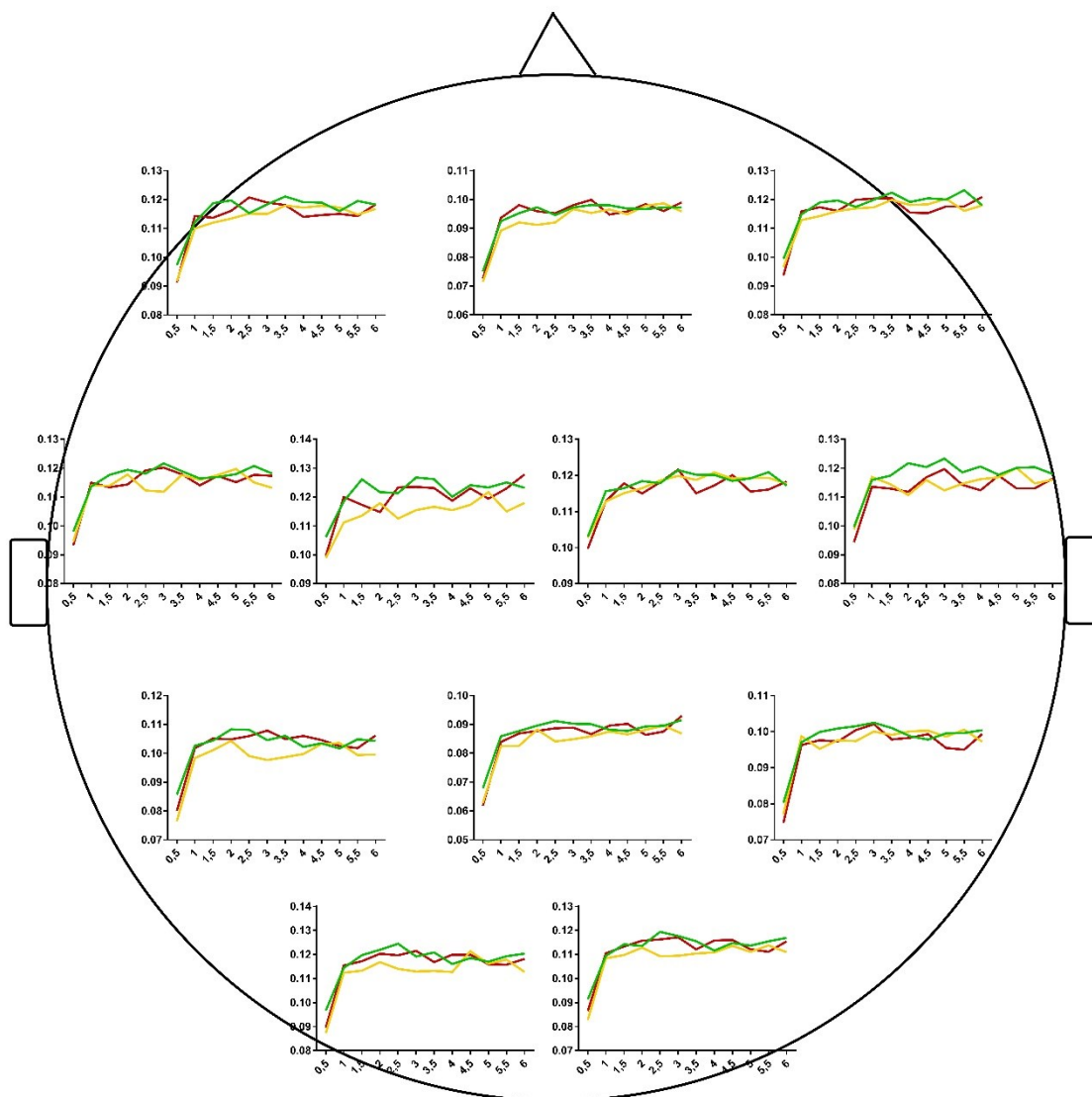
**Obrázek 15-** Relativní změny výkonu beta1 pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé valenci emocí. Zelená – pozitivní, žlutá – neutrální, červená – negativní.

Vyšší nárůst výkonu beta2 pásma byl pozorován zejména v centrální frontální oblasti 1-2 s po počátku stimulu při emotivně zabarvených stimulech proti neutrálním ( $F(2, 59088) = 17,07, p < 0.05$ ). Při pozitivních emocích byl sledován krátkodobý signifikantně vyšší beta2 výkon 3,5 sekundy od počátku stimulu v levé temporální oblasti ( $F(2, 59088) = 3,95, p < 0.05$ ) v porovnání s neutrálními a negativními stimuly a v levé centrální oblasti ( $F(2, 59088) = 13,64, p < 0.05$ ) v porovnání s neutrálními. Po 5 s od počátku stimulu byl pozorován signifikantně vyšší výkon beta2 pásma při pozitivní emoci oproti negativní v centrální parietální ( $F(2, 59088) = 7,987, p < 0.05$ ), pravé parietální ( $F(2, 59088) = 8,134, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální oblasti ( $F(2, 59088) = 15,03, p < 0.05$ ). Tento rozdíl byl signifikantní také 3,5 s po počátku stimulu v pravé parietální a okcipitální oblasti a 6 s po počátku v pravé okcipitální oblasti. Výkony beta2 pásma však při různé valenci emoce v těchto oblastech výrazně kolísají (obr 16).



**Obrázek 16** - Relativní změny výkonu beta2 pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé valenci emocí. Zelená – pozitivní, žlutá – neutrální, červená – negativní.

V levé centrální oblasti byl pozorován vyšší výkon beta3 pásma při emočních stimulech oproti neutrálním ( $F(2, 59088) = 27,86, p < 0.05$ ), krátkodobý signifikantní rozdíl byl pozorován při pozitivních emocích oproti negativním a neutrálním 1,5 s po počátku stimulu. Vyšší nárůst beta3 výkonu při pozitivních stimulech se ukázal také v pravé temporální oblasti ( $F(2, 59088) = 14,58, p < 0.05$ ). Emotivní stimuly vyvolaly vyšší nárůst beta3 výkonu v úseku 2,5 – 3,5 s od počátku stimulu v levé parietální ( $F(2, 59088) = 21,17, p < 0.05$ ), levé okcipitální ( $F(2, 59088) = 12,68, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální ( $F(2, 59088) = 11,03, p < 0.05$ ) oblasti. Změny beta3 výkonu v souvislosti s valencí emocí jsou zobrazeny na obrázku č. 17.



**Obrázek 17** - Relativní změny výkonu beta3 pásma (osa y) v čase (osa x [s]) v jednotlivých oblastech mozku při různé valenci emocí. Zelená – pozitivní, žlutá – neutrální, červená – negativní.

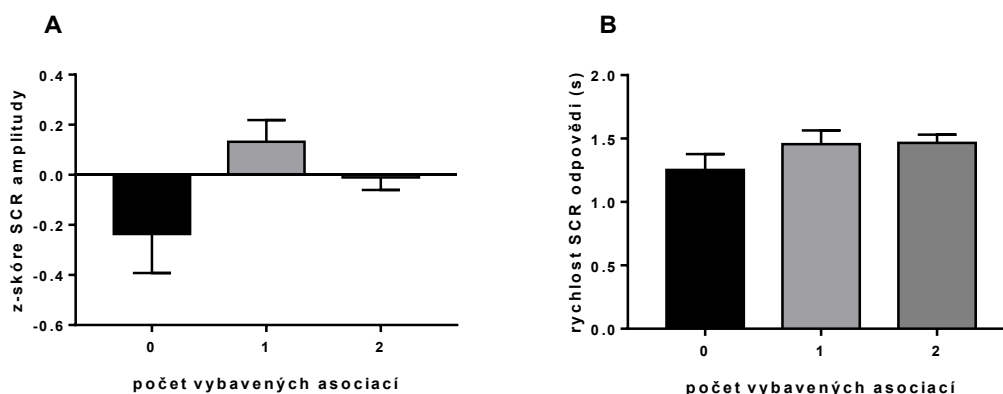
## 5.2. Koreláty paměti

### 5.2.1. Elektrodermální koreláty paměti

Data z prvních kol (seznámení s obličejí a učení asociací) byla porovnávána podle toho, zda byla informace v posledním kole vybavena nebo ne. V prvním kole paměťového testu neukázal dvouvýběrový t-test žádnou souvislost zapamatovaných a nezapamatovaných informací se z-skórem SCR amplitudy ( $t=0,2092$ ,  $df=535$ ,  $p>0.05$ ), s rychlostí SCR ( $t=0,5078$ ,  $df=536$ ,  $p>0.05$ ) ani s latencí ( $t=0,7991$ ,  $df=536$ ,  $p>0.05$ ). Výsledky t-testu pro nadcházející kola se jmény a zálibami neukázaly žádné signifikantní

výsledky při porovnávání parametrů elektrodermální aktivity mezi později vybavenými a nevybavenými asociacemi. Delší latence byla pozorována v obou těchto kolech při později vybavené asociaci v porovnání s nevybavenými asociacemi. Tento efekt však nebyl signifikantní při učení jmen ( $t=1,044$ ,  $df=477$ ,  $p>0.05$ ) ani zálib ( $t=1,359$ ,  $df=482$ ,  $p>0.05$ ).

Data posledního (vybavovacího) kola byla porovnávána na základě počtu zapamatovaných asociací (0, 1, 2) jednocestnou ANOVOU. Spojitost nebyla nalezena v případě latence ( $F(2, 519) = 0,3917$ ,  $p>0.05$ ). Z-skóre SCR amplitudy bylo vyšší u vybavených informací, ale v případě vybavení obou asociací byla amplituda překvapivě nižší oproti vybavení pouze jedné asociace (obr. 18A). Nicméně tyto rozdíly mezi počtem vybavených a nevybavených asociací nebyly vyhodnoceny jako statisticky významné ( $F(2, 519) = 2,247$ ,  $p>0.05$ ). SCR byla pomalejší v případě vybavení 1 nebo 2 asociací (obr. 18B), ale ANOVA neprokázala tento efekt jako signifikantní ( $F(2, 520) = 0,4724$ ,  $p>0.05$ ).



**Obrázek 18** – Elektrodermální odpovědi spojené s paměťovými procesy. **A** – Efekt počtu vybavených informací na z-skóre SCR amplitudy,  $\pm SEM$ , ( $F(2, 519) = 2,247$ ,  $p<0.05$ , ANOVA). **B** – Spojitost pomalejšího nárůstu SCR s vyšším počtem vybavených asociací,  $F(2, 520) = 0,4724$ ,  $p>0.05$ , ANOVA.

### 5.2.2. Spektrální EEG koreláty paměti

V prvním kole byl pozorován vyšší theta výkon v levé frontální ( $F(1, 19639) = 5,627$ ,  $p<0.05$ ) a levé temporální ( $F(1, 19639) = 5,488$ ,  $p<0.05$ ) oblasti jako předpoklad později zapamatovaných asociací k danému obličeji. Vyšší beta1 výkon byl pozorován jako předpoklad úspěšného zapamatování

v pravé frontální oblasti ( $F(1, 19639) = 6,259, p < 0.05$ ) a v centrálních a parietálních oblastech, zejména v levé centrální ( $F(1, 19639) = 15,44, p < 0.05$ ) a pravé parietální ( $F(1, 19639) = 15,53, p < 0.05$ ) oblasti. Signifikantně vyšší beta2 výkon byl pozorován jako předpoklad úspěšného zapamatování v centrální frontální oblasti ( $F(1, 19639) = 13,1, p < 0.05$ ) v levé ( $F(1, 19639) = 7,822, p < 0.05$ ) i pravé ( $F(1, 19639) = 8,113, p < 0.05$ ) centrální oblasti a v pravé parietální ( $F(1, 19639) = 7,982, p < 0.05$ ) oblasti. Naopak nižší beta3 aktivita jako předpoklad úspěšné asociace byla pozorována v levé parietální ( $F(1, 19639) = 42,28, p < 0.05$ ), levé okcipitální oblasti ( $F(1, 19639) = 16,43, p < 0.05$ ).

Rozdíly mezi úspěšným a neúspěšným učením jmen a zálib v jednotlivých pásmech jsou zobrazeny na obrázku č. 19 (A, B). Rozdíly ve spektrálních výkonech v závislosti na počtu vybavených informací ukazují obrázky č. 20.

V druhém kole (učení jmen) byla pozorována vyšší theta frekvence při úspěšném zapamatování jména v levé frontální oblasti ( $F(1, 12530) = 10,5, p < 0.05$ ). Větší pokles theta aktivity při neúspěšném učením byl pozorován také v centrální parietální oblasti ( $F(1, 12530) = 4,402, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální oblasti ( $F(1, 12530) = 3,863, p < 0.05$ ), kde byl v obou případech následně pozorován nárůst 3,5 s po počátku stimulu, po kterém následoval spíše kolísavý průběh této křivky. Ve třetím kole při učení asociací zálib byl naopak pozorován vyšší výkon theta pásma při neúspěšném učením v pravé frontální oblasti ( $F(1, 12768) = 5,687, p < 0.05$ ), přičemž křivka neúspěšné asociace byla opět kolísavější.

Při učení jmen byl pozorován vyšší výkon alfa frekvence při úspěšném učením v levé ( $F(1, 12530) = 12,65, p < 0.05$ ) a pravé frontální oblasti ( $F(1, 12530) = 26,49, p < 0.05$ ) a pravé centrální oblasti ( $F(1, 12530) = 4,288, p < 0.05$ ) a pravé temporální oblasti ( $F(1, 12530) = 21,57, p < 0.05$ ), kde jsou také pozorovány výraznější změny v čase při neúspěšném učením asociace. Učení zálib prokázalo signifikantní rozdíl ve všech oblastech mozku s vyšším výkonem při úspěšných asociacích a výraznějšími změnami ve výkonu v případě neúspěšných asociací. Nejvýznamnější signifikance byla nalezena v pravé ( $F(1, 12768) = 24,12, p < 0.05$ ) a levé ( $F(1, 12768) = 19,3, p < 0.05$ )



centrální oblasti, centrální frontální oblasti ( $F(1, 12768) = 12,86, p < 0.05$ ) a levé frontální ( $F(1, 12768) = 11, p < 0.05$ ), levé temporální ( $F(1, 12768) = 13,11, p < 0.05$ ) a levé parietální ( $F(1, 12768) = 11,89, p < 0.05$ ) oblasti.

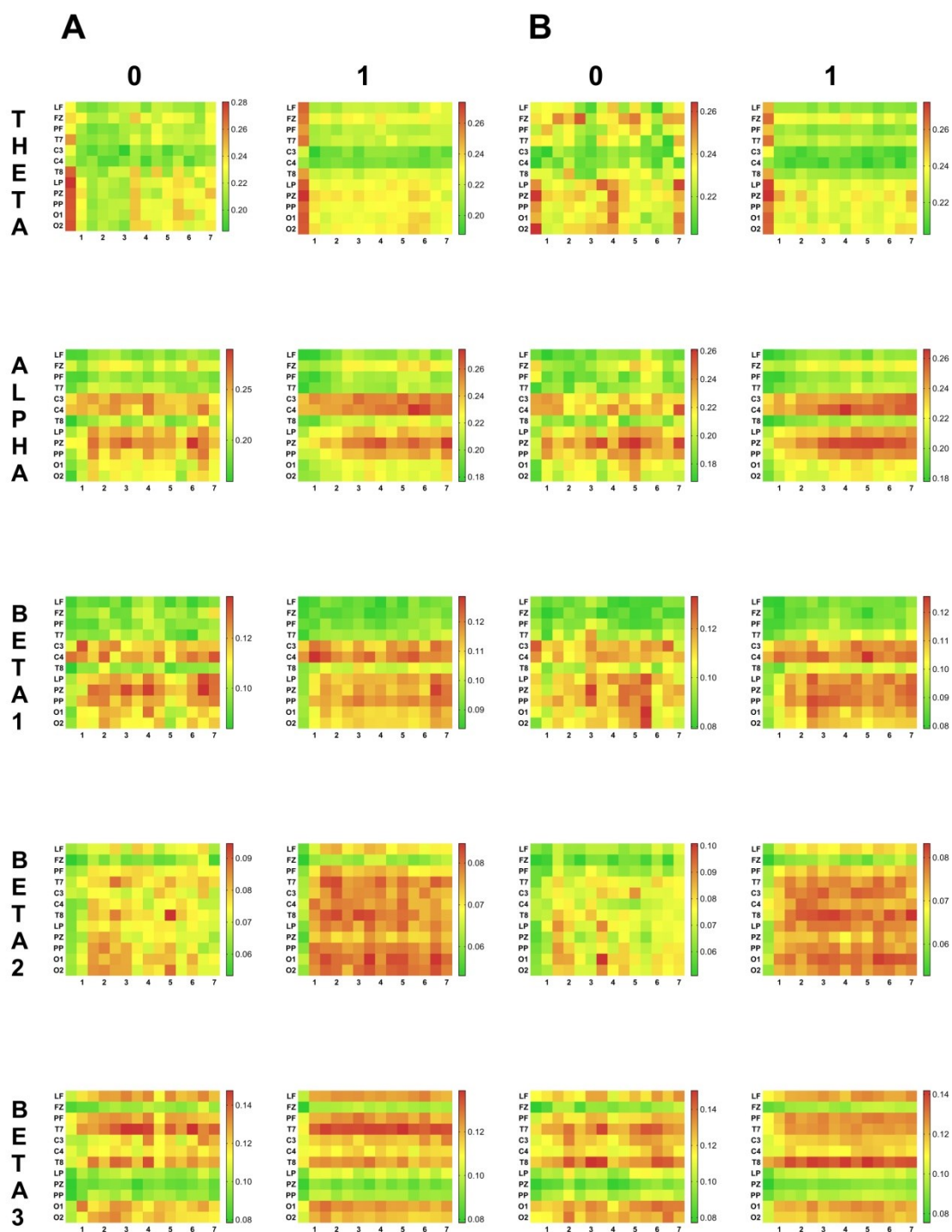
Beta1 výkon byl signifikantně vyšší při neúspěšném učení jmen v centrální parietální oblasti ( $F(1, 12530) = 22,88, p < 0.05$ ) a centrální frontální oblasti ( $F(1, 12530) = 29,98, p < 0.05$ ), kde křivka navíc opět vykazovala výrazně vyšší kolísavost oproti změnám při úspěšném učení. Žádné signifikantní rozdíly v beta1 výkonu nebyly pozorovány při učení asociací zálib.

Při učení jmen byl pozorován vyšší výkon beta2 pásma v pravé ( $F(1, 12530) = 5,637, p < 0.05$ ) a levé ( $F(1, 12530) = 4,268, p < 0.05$ ) centrální oblasti a levé parietální oblasti ( $F(1, 12530) = 4,52, p < 0.05$ ) při úspěšném zapamatování jména. Křivka při neúspěšném učení v centrálních oblastech vykazovala výraznější změny výkonu v čase. Vyšší výkon při úspěšné asociaci byl také pozorován při učení zálib v pravé ( $F(1, 12768) = 12,38, p < 0.05$ ) a levé ( $F(1, 12768) = 4,221, p < 0.05$ ) frontální oblasti, pravé centrální ( $F(1, 12768) = 5,505, p < 0.05$ ) a pravé temporální ( $F(1, 12768) = 3,89, p < 0.05$ ) oblasti. Křivka neúspěšného učení vykazovala vyšší kolísavost zejména v oblastech pravé hemisféry mozku.

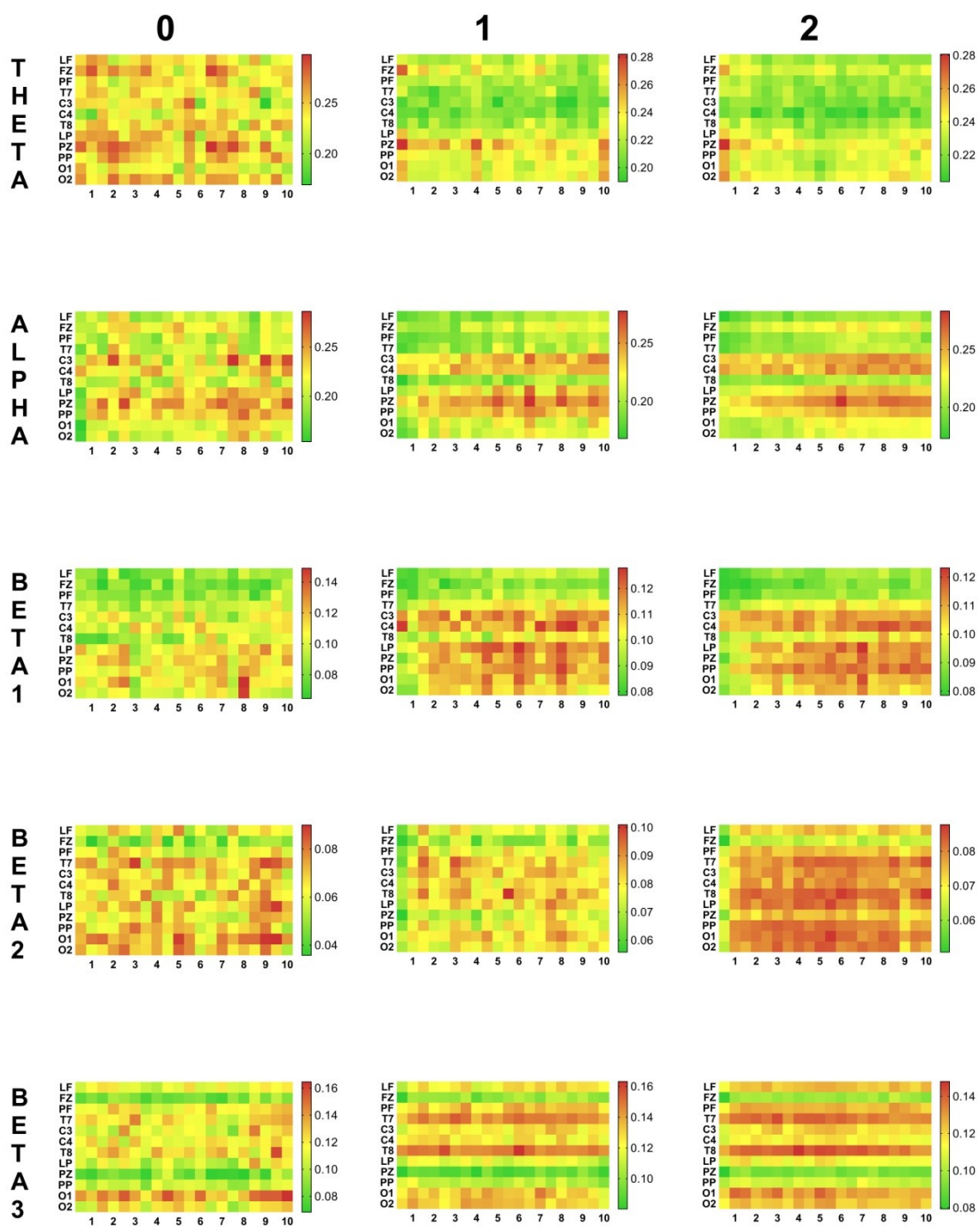
Beta3 pásmo ukázalo vyšší nárůst výkonu a zároveň větší rozdíly výkonu v čase v pravé temporální oblasti ( $F(1, 12530) = 4,72, p < 0.05$ ) při neúspěšné asociaci jmen. Naopak nižší nárůst při nezapamatovaných asociacích oproti zapamatovaným byl pozorován v levé parietální oblasti ( $F(1, 12530) = 5,642, p < 0.05$ ). Výrazně signifikantní byl rozdíl v levé temporální oblasti ( $F(1, 12768) = 16,69, p < 0.05$ ) při učení zálib s vyšším beta3 výkonem při neúspěšném učení a výraznějšími změnami výkonu v čase. Obdobný efekt byl pozorován v levé centrální ( $F(1, 12768) = 9,309, p < 0.05$ ), pravé parietální ( $F(1, 12768) = 11,38, p < 0.05$ ), levé okcipitální ( $F(1, 12768) = 11,36, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální ( $F(1, 12768) = 14,3, p < 0.05$ ) oblasti. Naopak vyšší beta3 výkon byl pozorován v pravé frontální oblasti při úspěšném zapamatování asociace ( $F(1, 12768) = 4,883, p < 0.05$ ).

Během posledního (vybavovacího) kola byla prokázána vyšší theta aktivita při nevybavené asociaci oproti vybaveným asociacím. Jedna vybavená asociace pak překvapivě vykazovala mírně nižší theta výkon než při vybavení obou asociací. Tento efekt byl výrazně signifikantní v levé ( $F(2, 16060) = 10,2, p < 0.05$ ), centrální ( $F(2, 16060) = 10,07, p < 0.05$ ) a pravé frontální ( $F(2, 16060) = 10,76, p < 0.05$ ) oblasti, levé temporální ( $F(2, 16060) = 13,89, p < 0.05$ ), levé centrální ( $F(2, 16060) = 14,49, p < 0.05$ ), pravé centrální ( $F(2, 16060) = 12,99, p < 0.05$ ), pravé temporální ( $F(2, 16060) = 20,33, p < 0.05$ ), levé parietální ( $F(2, 16060) = 7,417, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální ( $F(2, 16060) = 8,324, p < 0.05$ ) oblasti. Změny výkonu v čase byly výraznější s menším počtem vybavených informací, tedy nejvýraznější při nevybavení žádné asociace. Alfa výkon byl vyšší v pravé centrální oblasti ( $F(2, 16060) = 9,325, p < 0.05$ ) s počtem úspěšně vybavených asociací. Změny v čase byly výrazně kolísavější v případě žádné vybavené asociace.

Beta1 pásmo ukázalo nižší výkon při nevybavené asociaci oproti úspěšnému vybavení. Vybavení jedné asociace bylo provázeno mírně vyšším výkonem než dvě vybavené asociace. Tento efekt byl signifikantní zejména v levé centrální oblasti ( $F(2, 16060) = 9,967, p < 0.05$ ) a pravé frontální oblasti ( $F(2, 16060) = 7,02, p < 0.05$ ). S klesajícím počtem vybavených asociací se zvyšovaly rozdíly výkonu v čase. Obdobný efekt jako beta1 pásmo vykázalo i beta2 pásmo signifikantní ve všech oblastech povrchu mozku a beta3 pásmo v pravé ( $F(2, 16060) = 8,631, p < 0.05$ ), levé ( $F(2, 16060) = 9,114, p < 0.05$ ) a centrální ( $F(2, 16060) = 13,83, p < 0.05$ ) frontální oblasti, pravé ( $F(2, 16060) = 19,36, p < 0.05$ ) i levé ( $F(2, 16060) = 21,15, p < 0.05$ ) temporální oblasti, levé centrální oblasti ( $F(2, 16060) = 7,497, p < 0.05$ ) a pravé okcipitální oblasti ( $F(2, 16060) = 10,87, p < 0.05$ ).



**Obrázek 19** – Heat mapy zobrazující výkonové změny jednotlivých pásem v čase (osa x [s]) při zapamatovaných (1) a nezapamatovaných (0) asociacích během učení jmen (A) a zálib (B) obličejů. Oblasti zájmu (osa y shora): LF, FZ, RF, T7, C3, C4, T8, LP, PZ, PP, O1, O2.



**Obrázek 20** – Heat mapy zobrazující výkonové změny jednotlivých pásem v čase (osa x [s]) v závislosti na počtu vybavených asociací (0, 1, 2). Oblasti zájmu (osa y shora): LF, FZ, RF, T7, C3, C4, T8, LP, PZ, PP, O1, O2

## 6. Diskuze

### GSR

Výsledky hodnocení závislosti amplitudy na valenci a intenzitě emocí jsou v souladu s dosavadní literaturou. Emoce s vysokou intenzitou se projevují vyšší amplitudou SCR než emoce s nižší intenzitou (Aftanas et al. 2002; Balconi, Falbo, et al. 2009; Bianchin & Angrilli 2012; Lang et al. 1993; Witvliet & Vrana 1995). Výsledky této práce také ukazují vyšší amplitudu SCR při negativní valenci oproti neutrálním a pozitivním stimulům (obr. 7A), ačkoliv tento rozdíl mezi negativními a pozitivními stimuly nebyl vyhodnocen jako signifikantní. Předchozí studie již vyšší amplitudu SCR spojenou s negativními emocemi potvrdily. (Balconi, Falbo, et al. 2009; Fernández et al. 2012) Překvapivý výsledek byl pozorován u latence SCR, která byla delší při vysoké intenzitě emocí a kratší v případě emocí s nižší intenzitou (obr. 7C). Tento výsledek je v rozporu s předchozí studií, která ukázala právě opačnou souvislost intenzity emocí s latencí SCR (Witvliet & Vrana 1995). Možnou příčinou těchto rozdílných výsledků může být způsob stimulace. Witvliet & Vrana instruovali probandy k představám předem známých emoce-vyvolávajících situací po zaznění určitého tónu. Bohužel studie používající k vyvolání emočního prožitku obrázky neuvádějí jejich efekt na latenci elektrodermální odpovědi. Rychlost SCR byla pozorována vyšší u emocí s vysokou intenzitou, což je částečně v souladu s předchozími výsledky studie Williamse a kol., kteří ukázali vyšší rychlost SCR při pozorování vystrašených obličejů oproti neutrálním. (Williams et al. 2004) Tato studie není zaměřena na porovnávání intenzity či valence emocí, nicméně dá se předpokládat, že obličej s vystrašeným výrazem vyvolávali u probandů emoce s vyšší intenzitou než obličej s výrazem neutrálním.

Výsledky této práce nepotvrdily předchozí poznatky o zvýšené SCR při kódování nových informací. (Plouffe & Stelmack 1984) Důvodem může být fakt, že v prvním kole při sledování samotných obličejů, byli probandi instruováni, aby se na obličej pouze dívali pro seznámení se s ním. V dalších kolech, kde s ním byla prezentována asociace k zapamatování, už pro probandy nebyl obličej nový, což mohlo snížit velikost SCR reakce. Toto vysvětlení je v souladu s předchozími poznatky (Plouffe & Stelmack 1984).

Zvýšená amplituda byla pozorována při vybavování informací již v předchozí studii (Rothen & Meier 2014). Tento jev, ačkoliv statisticky nesignifikantní, byl pozorován i v této práci. Navíc se ukázalo, že velikost amplitudy pravděpodobně nestoupá s počtem úspěšně vybavených informací, jelikož při vybavení obou informací byla amplituda nižší oproti pouze jedné vybavené informaci ze dvou celkových. Bohužel ani tento rozdíl nebyl vyhodnocen signifikantně. Dalším nesignifikantním ale přesto zajímavým výsledkem je pomalejší nárůst SCR při vybavených informacích oproti nevybavení žádné informace, přičemž odpověď byla přibližně stejně pomalá při vybavení jedné i obou asociací.

## **EEG**

Na rozdíl od předchozích studií (Aftanas et al. 2001; Gaeta et al. 2015) v této práci nebyl nalezen rozdíl v theta výkonu mezi negativními a pozitivními stimuly v anteriorní části mozku. Gaeta a kol. ve spojitosti s valencí emoce ukázali rozdílné výsledky při různých intenzitách emoce, tudíž ani v jejich případě nebyla anterio-posteriorní theta lokalizace valence jednoznačná. Spojitost posteriorní theta aktivity s emočními stimuly se v této práci projevovala sníženým relativním výkonem pásma v posteriorních oblastech (obr. 13), ačkoliv v předchozích studiích byl efekt opačný. (Aftanas et al. 2001; Aftanas et al. 2004; Aftanas et al. 2002; Gaeta et al. 2015; Sun et al. 2012) Důvodem je skutečnost, že předchozí studie pozorovaly rozdíly spojené v theta výkonu v intervalech 100-200 ms po dobu 1-2 s oproti této práci, kde byly intervaly stanoveny na 500 ms po dobu 6s prezentace stimulu. Theta pásmo vykazuje souvislost se zpracováním emocí zejména bezprostředně po počátku stimulu. (Aftanas et al. 2002)

Snížená alfa aktivita v souvislosti s vysokou intenzitou emocí nalezena v této práci je sice v rozporu s předchozími nálezy (Aftanas et al. 2002; Aftanas et al. 2004), nicméně zapadá do konceptu alfa desynchronizace jako ukazatele zvýšené pozornosti a mentálního zpracovávání. (Ray & Cole 1985) Tyto výsledky tedy naznačují, že větší pozornost mozek věnuje emocím o vyšší intenzitě oproti emocím s nízkou intenzitou. Mírný nárůst alfa aktivity v levé posteriorní oblasti na konci promítání stimulu při pozitivní emoci oproti negativní by mohl signalizovat rychlejší pokles pozornosti vůči

neškodnému stimulu (obr. 14). V levé a centrální frontální oblasti byl také pozorován výrazný nárůst alfa aktivity 3 s po počátku stimulu. Tento výsledek bohužel není porovnatelný s předchozími studiemi, protože nebyla zohledněna aktivační a inhibiční složka chování jako faktor ovlivňující frontální asymetrii. (Coan & Allen 2003) Alfa aktivita obecně vykazovala trend nárůstu výkonu v reakci na jakýkoliv stimul. Tento efekt je vzhledem k souvislosti zvýšené alfa aktivity s nižší pozorností překvapivý, nicméně pokles alfa aktivity v předchozích pracích je pozorován zejména v 1 s po stimulu (Aftanas et al. 2004; Aftanas et al. 2002; Gaeta et al. 2015), tudíž pozdější reakce alfa aktivity by se daly považovat za pomalejší složku zpracování stimulu.

Výsledky sledování beta aktivity jsou v souladu s předchozí literaturou a ukazují vyšší výkon při zpracování emočních stimulů oproti neutrálním. (Güntekin & Başar 2010; Miskovic & Schmidt 2010) Tato skutečnost je pozorována zejména v okcipitálních oblastech, které navíc ukázaly výrazně vyšší beta3 aktivitu při zpracovávání emocí o vysoké intenzitě. (Aftanas et al. 2004) Méně výrazná korelace beta3 výkonu s intenzitou emoce je pozorován také v laterálních temporo-parietálních oblastech (obr. 12). Tato práce ukázala podrobnější přehled o jednotlivých frekvencích beta pásma než předchozí práce. Nárůst výkonu beta1 pásma kromě souvislosti k emočním stimulům obecně, koreluje zřejmě také s negativními emocemi, která se projevuje výrazněji v pravé anteriorní oblasti mozku, ale rychleji v levé anteriorní oblasti (obr. 15). Vyšší intenzita emoce je spojena s rychlým krátkodobým nárůstem beta1 výkonu 1 s po počátku stimulu v centrálních oblastech povrchu mozku, který zřejmě pokračuje do centrální frontální oblasti, kde byl pozorován o 1s později (obr. 10). Tento krátkodobý nárůst v centrální frontální oblasti je pozorován také ve výkonu beta2 pásma. Nicméně centrální oblasti naopak ukazují nízký beta2 výkon v prvních 2 sekundách stimulace s vyšší intenzitou stimulu (obr. 13). Beta3 pásmo by mohlo být indikátorem pozitivní emoce v pravé temporální oblasti, kde vykazuje vyšší výkon než neutrální a negativní stimuly (obr. 17) (Ray & Cole 1985).

Při paměťovém testu byla pozorována zvýšená theta aktivita v levé fronto-temporální oblasti jako předpoklad pozdějšího zapamatování asociace k danému pozorovanému obličeji. Theta aktivita byla již dříve pozorována před samotným učením jako předpoklad k úspěšnému zapamatování stimulu. (Schneider & Rose 2016) Nicméně samotná theta aktivita se nezdá být korelátem kódování paměti. (Salari & Rose 2016) V této práci byla při učení jmen pozorována vyšší theta aktivita v levé frontální, centrální parietální a pravé okcipitální oblasti, ale při učení asociací zájmu k obličeji byla naopak při úspěšném zapamatování informace theta aktivita nižší v pravé frontální oblasti oproti nezapamatovaným. Předchozí studie ukázaly, že zvýšený výkon theta pásma je spojen s kódováním určitých typů informací, zatímco při kódování jiných typů paměti je sledován naopak pokles theta výkonu. (Clouter et al. 2017; Griffiths et al. 2016; Staudigl & Hanslmayr 2013) Při vybavování asociací byla pozorována nižší theta aktivita při úspěšném vybavení asociace oproti žádné vybavené asociaci. Překvapivý byl mírně nižší výkon při vybavení pouze jedné asociace oproti vybavení obou asociací. Zvýšená theta aktivita ve fronto-centrálních oblastech je podle předchozích studií spojena s exekutivními funkcemi a obtížností úloh, což je v souladu s naším výsledkem vyššího výkonu při neúspěšném vybavení. (Jacobs et al. 2006; Sauseng et al. 2005) Nicméně zvýšený výkon theta v levé parietální oblasti při úspěšném vybavení nebyl v této práci nalezen.

Během učení jmen byl pozorován zvýšený alfa výkon zejména v pravých centrálních a anteriorních oblastech. Při učení zálib byla zvýšená aktivita při úspěšném učení sledována po celém skalpu, nicméně výraznější efekt byl pozorován v centrální oblasti a levé hemisféře. Tento nález je v souladu s dřívějším nálezem zvýšeného alfa výkonu při kódování epizodické paměti a potvrzuje dřívější výsledky ukazující vyšší výkon alfa frekvence v souvislosti s větším zatížením pracovní paměti. (Jensen et al. 2002) Zároveň je v souladu s předpokladem vyššího alfa výkonu při paměťových procesech u lidí s lepšími paměťovými schopnostmi. (Klimesch et al. 1997) Vyšší alfa výkon byl také spojen s rostoucím počtem vybavených informací v pravé centrální oblasti.



Při pozorování obličejů bez jmen a zálib byla zvýšená beta1 a beta2 a snížená beta3 aktivita předpokladem pro zapamatování asociací k danému obličejí. V předchozí studii byl pozorován nárůst beta1 výkonu před stimulem, byl-li jedinec uvědomen o účelu zapamatování si stimulu. (Schneider & Rose 2016) V této práci byli jedinci informováni o tom, že budou k obličejům později přiřazovány asociace k zapamatování. Nárůst beta aktivity by v tomto případě mohl být považován za korelát zvýšené pozornosti k nadcházejícím stimulům.

Beta1 aktivita byla nižší v centrální parietální a centrální frontální oblasti při úspěšném učení jmen, ale žádný korelát nebyl nalezen při učení zálib. Beta2 aktivita ukázala vyšší výkon při úspěšném kódování asociací jmen s obličejí v centrálních a levé parietální oblasti, zatímco při učení asociací zájmu byla pozorována oboustranně frontálně a v pravé temporální a centrální oblasti. Beta3 aktivita ukazovala protichůdné rozdíly mezi naučenými a nenaučenými asociacemi v různých oblastech mozku i v porovnání učení jmen a zálib. Při vybavování byl ve všech beta pásmech pozorován pokles při neúspěšném vybavení a zároveň překvapivě mírně vyšší výkon při jedné vybavené asociaci v porovnání s dvěma vybavenými.

V této práci byl pozorován výrazně odlišný průběh časových změn při úspěšném a neúspěšném zapamatování informací napříč frekvenčními pásmy během všech kol paměťového testu, tedy během kódování i vybavování paměti. Změny v čase byly výraznější při neúspěšných paměťových procesech a časová křivka změn při úspěšných paměťových procesech nevykazovala výrazné výchyly. Tento jev by mohl být korelátem paměťových procesů jako stabilnější výkon spekter během úspěšných zapamatování oproti neúspěšným. Nicméně tento jev by mohl být také způsoben nevyrovnaným poměrem zapamatovaných a nezapamatovaných informací napříč probandy. Nezapamatovaných informací bylo oproti zapamatovaným výrazně méně, což mohlo mít vliv na výsledky statistického hodnocení nasbíraných dat.

## 7. Závěr

Tato práce přinesla konzistentní náhled na paměťové a emoční procesy z hlediska spektrálních EEG korelátů a elektrodermálních odpovědí. Hlavním přínosem tohoto projektu je aplikace stejných postupů při akvizici a zpracování dat napříč sledovanými frekvenčními pásmy, což poskytuje souhrnné informace o mentálních procesech u zdravých jedinců. Byly získány výsledky popisující elektrodermální odpovědi na intenzitu a valenci emocí a paměťové procesy, přičemž se ukázalo, že kožní odpovědi s paměťovými procesy nevykazují žádné výrazné souvislosti. Dále byl poskytnut celkový přehled výkonových změn v čase v jednotlivých oblastech mozku na valenci a intenzitu emocí i paměťové procesy v theta, alfa, beta1, beta2 a beta3 frekvenčních pásmech.

Dalším cílem bylo vytvořit testovací sadu použitelnou pro aplikaci testování a diagnostiky u jedinců s kognitivními a afektivními poruchami. V případě paměťového testu se nepodařilo sestavit test s vyrovnaným poměrem zapamatovaných a nezapamatovaných asociací. U zdravých jedinců byl počet zapamatovaných asociací výrazně vyšší, což by se dalo řešit zvýšením počtu asociací pro zapamatování. Nicméně pro subjekty s kognitivními dysfunkcemi by mohl být původní test ideální pro získání vyrovnaného poměru zapamatovaných a nezapamatovaných asociací.

Souhrn psychofyzilogických korelátů emocí a paměti poskytnutý touto studií by mohl posloužit jako základní stavební kámen pro hledání korelátů dysfunkcí těchto procesů u lidí trpících kognitivními a mentálními poruchami. Psychofyzilogické metody by potom mohly sloužit k přesnější diagnostice mentálních poruch s podobnými symptomy a zároveň přinést hlubší porozumění mentálním a kognitivním procesům v mozku.

## 8. Seznam literatury

- Abel, T. & Lattal, K.M., 2001. Molecular mechanisms of memory acquisition , consolidation and retrieval. *Current Opinion in Neurobiology*, 11(2), pp.180–187.
- Abelson, R.P. & Sermat, V., 1962. MULTIDIMENSIONAL SCALING OF FACIAL EXPRESSIONS. *Journal of Experimental Psychology*, 63(6), pp.546–554.
- Aftanas, L.I. et al., 2001. Affective picture processing : event-related synchronization within individually defined human theta band is modulated by valence dimension. *Neuroscience Letters*, 303(2), pp.115–118.
- Aftanas, L.I. et al., 2004. Analysis of evoked EEG synchronization and desynchronization in conditions of emotional activation in humans: Temporal and topographic characteristics. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 34(8), pp.859–867.
- Aftanas, L.I. et al., 2002. Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands. *International Journal of Psychophysiology*, 44(1), pp.67–82.
- Baddeley, A., 2000. The episodic buffer : a new component of working memory ? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), pp.417–423.
- Baddeley, A., 2003. WORKING MEMORY: LOOKING BACK AND LOOKING FORWARD. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), pp.829–839.
- Baddeley, A., 1992. Working Memory. *Science*, 255(5044), pp.556–559.
- Balconi, M., Brambilla, E. & Falbo, L., 2009. BIS/BAS, cortical oscillations and coherence in response to emotional cues. *Brain Research Bulletin*, 80(3), pp.151–157.
- Balconi, M., Falbo, L. & Brambilla, E., 2009. BIS/BAS responses to emotional cues: Self report, autonomic measure and alpha band modulation. *Personality and Individual Differences*, 47(8), pp.858–863.
- Balconi, M. & Mazza, G., 2009. Brain oscillations and BIS/BAS (behavioral inhibition/activation system) effects on processing masked emotional cues. ERS/ERD and coherence measures of alpha band. *International Journal of Psychophysiology*, 74(2), pp.158–165.
- Bauer, R.M. & Verfaellie, M., 1988. Electrodermal Discrimination of Familiar but Not Unfamiliar Faces in Prosopagnosia. *Brain and cognition*, 8(2), pp.240–252.
- Bianchin, M. & Angrilli, A., 2012. Gender differences in emotional responses: A psychophysiological study. *Physiology and Behavior*, 105(4), pp.925–932.
- Bradley, M.M. & Lang, P.J., 1994. Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental*

- Psychiatry*, 25(1), pp.49–59.
- Burgess, A.P. & Gruzelier, J.H., 1997. Short duration synchronization of human theta rhythm during recognition memory. *NeuroReport*, 8(4), pp.1039–1042.
- Clouter, A., Shapiro, K.L. & Hanslmayr, S., 2017. Theta Phase Synchronization Is the Glue that Binds Human Associative Memory. *Current Biology*, 27(20), pp.3143–3148.
- Coan, J.A. & Allen, J.J.B.B., 2003. Frontal EEG asymmetry and the behavioral activation and inhibition systems. *Psychophysiology*, 40(1), pp.106–114.
- Dan-glauser, E.S. & Scherer, K.R., 2011. The Geneva affective picture database (GAPED ): a new 730-picture database focusing on valence and normative significance. *Behavior Research Methods*, 43(2), pp.468–477.
- Davidson, R.J. et al., 1990. Approach-Withdrawal and Cerebral Asymmetry: Emotional Expression and Brain Physiology I. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58(2), pp.330–341.
- Dawson, M.E., Schell, A.M. & Filion, D.L., 2007. The electrodermal system. In *Handbook of Psychophysiology*. pp. 200–223.
- Dudai, Y., 2002. Memory from A to Z, keywords, concepts and beyond,
- Ekman, P., 1992. An Argument For Basic Emotions. *COGNITION AND EMOTION*, 6(3/4), pp.169–200.
- Ekman, P. & Friesen, W. V, 1971. CONSTANTS ACROSS CULTURES IN THE FACE AND EMOTION '. *Journal of Personality and Social Psychology*, 17(2), pp.124–129.
- Engle, R.W. et al., 1999. Working Memory , Short-Term Memory , and General Fluid Intelligence: A Latent-Variable Approach. *Journal of Experimental Psychology*, 128(3), pp.309–331.
- Fentaw, T.D., 2017. Autonomic Specificity for Basic Emotions: A Review of the Implication of James – Lange theory of Emotion for the Autonomic Specificity Model of Emotion. *International Journal of Science and Research*, 6(7), pp.447–460.
- Fernández, C. et al., 2012. Physiological responses induced by emotion-eliciting films. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 37(2), pp.73–79.
- Fisher, R.P. & Craik, F.I.M., 1977. Interaction Between Encoding and Retrieval Operations in Cued Recall. *Journal of Experimental Psychology*, 3(6), pp.701–711.
- Gaeta, G. et al., 2015. Analysis of EEG variables to measure the affective dimensions of arousal and valence related to the vision of emotional pictures. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and*

- Biology Society, EMBS, 2015–Novem, pp.2518–2521.*
- Gemignani, A. et al., 2012. The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity. *NeuroImage*, 60(2), pp.922–932.
- Griffiths, B. et al., 2016. Brain oscillations track the formation of episodic memories in the real world. *NeuroImage*, 143, pp.256–266.
- Güntekin, B. & Başar, E., 2010. Event-related beta oscillations are affected by emotional eliciting stimuli. *Neuroscience Letters*, 483(3), pp.173–178.
- Güntekin, B. & Tülay, E., 2014. Event related beta and gamma oscillatory responses during perception of affective pictures. *Brain Research*, 1577, pp.45–56.
- Hawkins, R.D., Kandel, E.R. & Siegelbaum, S.A., 1993. LEARNING TO MODULATE TRANSMITTER RELEASE: Themes and Variations in Synaptic Plasticity. *Annual Review of Neuroscience*, 16, pp.625–665.
- Holz, E.M. et al., 2010. Theta – gamma phase synchronization during memory matching in visual working memory. *NeuroImage*, 52(1), pp.326–335.
- Izard, C.E. & Buechler, S., 1980. Chapter 7 - ASPECTS OF CONSCIOUSNESS AND PERSONALITY IN TERMS OF DIFFERENTIAL EMOTIONS THEORY. In R. Plutchik & H. Kellerman, eds. *Emotion: Theory, Research, and Experience, Volume 1: Theories of Emotion*. ACADEMIC PRESS, pp. 167–187.
- Jacobs, J. et al., 2006. EEG oscillations and recognition memory: Theta correlates of memory retrieval and decision making. *NeuroImage*, 32(2), pp.978–987.
- Jensen, O. et al., 2002. Oscillations in the Alpha Band ( 9 – 12 Hz ) Increase with Memory Load during Retention in a Short-term Memory Task. *Cerebral Cortex*, 12(8), pp.877–882.
- Keil, A. et al., 2001. Effects of emotional arousal in the cerebral hemispheres: A study of oscillatory brain activity and event-related potentials. *Clinical Neurophysiology*, 112(11), pp.2057–2068.
- Kim, K.H., Bang, S.W. & Kim, S.R., 2004. Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 42, pp.419–427.
- Kitamura, T. et al., 2017. Engrams and circuits crucial for systems consolidation of a memory. *Science*, 78(6333), pp.73–78.
- Klimesch, W. et al., 1997. Brain oscillations and human memory: EEG correlates in the upper alpha and theta band. *Neuroscience Letters*, 238(1–2), pp.9–12.
- Klimesch, W., 1997. EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 26(1–3), pp.319–340.
- Klimesch, W., Schimke, H. & Schwaiger, J., 1994. Episodic and semantic memory: an

- analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 91(6), pp.428–441.
- Köster, M. et al., 2014. Theta – gamma coupling during episodic retrieval in the human EEG. *Brain Research*, 1577, pp.57–68.
- Lang, P.J. et al., 1993. Looking at pictures-affective, facial, visceral and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), pp.261–273.
- Lang, P.J., Bradley, M.M. & Cuthbert, B.N., 2008. *International Affective Picture System ( IAPS ): Affective ratings of pictures and instruction manual*.
- Lashley, K.S., 1950. In search of the engram. In *Society of Experimental Biology Symposium No. 4: Physiological mechanisms in animal behaviour*. pp. 454–482.
- Lisman, J., 2007. Long-term Potentiation. *Encyclopedia of Life Sciences*, pp.1–9.
- Lisman, J. & Richard, E.A., 2007. Long-term Depression and Depotentiation. *Encyclopedia of Life Sciences*, pp.1–6.
- Di Lollo, V., 1977. Temporal characteristics of iconic memory. *Nature*, 267(19), pp.241–243.
- Lynch, G.S., Dunwiddie, T. & Gribkoff, V., 1977. Heterosynaptic depression: a postsynaptic correlate of long-term potentiation. *Nature*, 266, pp.737–739.
- Marchewka, A. et al., 2014. The Nencki Affective Picture System ( NAPS ): Introduction to a novel , standardized , wide-range , high-quality , realistic picture database. *Behavior Research Methods*, 46(2), pp.596–610.
- Miskovic, V. & Schmidt, L.A., 2010. Cross-regional cortical synchronization during affective image viewing. *Brain Research*, 1362, pp.102–111.
- Morton, N.W. & Polyn, S.M., 2017. Beta-band activity represents the recent past during episodic encoding. *NeuroImage*, 147, pp.692–702.
- Osgood, E., 1966. DIMENSIONALITY OF THE SEMANTIC SPACE FOR COMMUNICATION VIA FACIAL EXPRESSIONS. *Scandinavian Journal of Psychology*, 7(1), pp.1–30.
- Plouffe, L.M.A. & Stelmack, R.M., 1984. The electrodermal orienting response and memory: an analysis of age differences in picture recall. *Psychophysiology*, 21(2), pp.191–198.
- Posner, J., Russell, J.A. & Peterson, B.S., 2005. The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience , cognitive development , and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(3), pp.715–734.
- Ray, W.J. & Cole, H.W., 1985. EEG Alpha Activity Reflects Attentional Demands , and Beta Activity Reflects Emotional and Cognitive Processes. *Science*, 228(4700), pp.750–752.
- Remington, N.A., Fabrigar, L.R. & Visser, P.S., 2000. Reexamining the Circumplex

- Model of Affect. Journal of Personality and Social Psychology*, 79(2), pp.286–300.
- Roediger III, H.L., Dudai, Y. & Fitzpatrick, S.M., 2007. *Science of Memory: Concepts*, Rothen, N. & Meier, B., 2014. *Psychophysiology of prospective memory. Memory*, 22(7), pp.867–880.
- Russell, J.A., 1980. *A Circumplex Model of Affect. Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), pp.1161–1178.
- Russell, J.A., 1978. *Evidence of Convergent Validity on the Dimensions of Affect. Journal of Personality and Social Psychology*, 36(10), pp.1152–1168.
- Russell, J.A. & Mehrabian, A., 1977. *Evidence for a Three-Factor Theory of Emotions. Journal of Research in Personality*, 11(3), pp.273–294.
- Salari, N. & Rose, M., 2016. *Dissociation of the functional relevance of different pre-stimulus oscillatory activity for memory formation. NeuroImage*, 125, pp.1013–1021.
- Sauseng, P. et al., 2005. *Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. International Journal of Psychophysiology*, 57(2), pp.97–103.
- Schacter, D.L., 1987. *Implicit Memory: History and Current Status. Journal of E*, 13(3), pp.501–518.
- Schlosberg, H., 1954. *Three dimensions of emotion. The psychological review*, 61(2), pp.81–88.
- Schneider, S.L. & Rose, M., 2016. *Intention to encode boosts memory-related pre-stimulus EEG beta power. NeuroImage*, 125, pp.978–987.
- Scoville, W.B. & Milner, B., 1957. *LOSS OF RECENT MEMORY AFTER BILATERAL HIPPOCAMPAL LESIONS. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 20(11), pp.11–21.
- Sperling, G., 1960. *The information available in brief visual presentations. Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11).
- Squire, L.R., 2004. *Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), pp.171–177.
- Staudigl, T. & Hanslmayr, S., 2013. *Theta Oscillations at Encoding Mediate the Context-Dependent Nature of Human Episodic Memory. Current Biology*, 23(12), pp.1101–1106.
- Sun, J. et al., 2012. *The processing bias for threatening cues revealed by event-related potential and event-related oscillation analyses. Neuroscience*, 203, pp.91–98.
- Tarnow, E., 2015. *First direct evidence of two stages in free recall. RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, (4), pp.15–26.

- Tranel, D. & Damasio, A.R., 1985. *Knowledge without Awareness : An Autonomic Index of Facial Recognition by Prosopagnosics*. *Science*, 228(4706), pp.1453–1454.
- Tulving, E., 1995. *Organization of memory: Quo vadis*. In *The cognitive neurosciences*. pp. 839–847.
- Tulving, E. & Thomson, D.M., 1973. *ENCODING SPECIFICITY AND RETRIEVAL PROCESSES IN EPISODIC MEMORY*. *Psychological Review*, 80(5), pp.352–373.
- Waid, W.M. et al., 1978. *Effects of Attention , as Indexed by Subsequent Memory , on Electrodermal Detection of Information*. *Journal of Applied Psychology*, 63(6), pp.728–733.
- Walker, M.P., Brakefield, T. & Hobson, J.A., 2003. *Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation*. *Nature*, 425(October), pp.8–12.
- Wang, H., Hu, Y. & Tsien, J.Z., 2006. *Molecular and systems mechanisms of memory consolidation and storage*. *Progress in Neurobiology*, 79(3), pp.123–135.
- Williams, L.M. et al., 2004. *Mapping the Time Course of Nonconscious and Conscious Perception of Fear : An Integration of Central and Peripheral Measures*. *Human Brain Mapping*, 21, pp.64–74.
- Witvliet, C. V & Vrana, S.R., 1995. *Psychophysiological Responses as Indexes of affective Dimensions*. *Psychophysiology*, 32, pp.436–443.
- Yonelinas, A.P., 2002. *The Nature of Recollection and Familiarity : A Review of 30 Years of Research*. *Journal of Memory and Language*, 46(3), pp.441–517.
- Zhao, G. et al., 2018. *Asymmetric hemisphere activation in tenderness: Evidence from EEG signals*. *Scientific Reports*, 8(1), pp.1–9.



## **Příloha č. 1**

### **Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu**

Byl/a jste pozván/a k účasti ve výzkumu psychofyziologických korelátů emocí a paměti. Výzkum probíhá na Přírodovědecké fakultě UK v rámci realizace projektu financovaného grantovou agenturou UK a mé diplomové práce. Vaše účast bude zahrnovat sběr dat týkajících se EEG, elektrodermální aktivity a pohybu očí při emočních a paměťových testech.

Vaše účast je zcela dobrovolná a můžete od ní kdykoliv odstoupit. Vaše osobní údaje nebudou předány třetí straně a účast v projektu zůstane anonymní. Vaše odpovědi v testech jsou důvěrné a budou určeny pouze pro účely tohoto výzkumu.

Za účast v tomto projektu Vám bude vyplacena odměna ve výši 150 Kč ve formě dárkové poukázky.

V případě jakýkoliv dotazů se můžete obrátit na hlavní řešitelku projektu Bc. Miroslavu Jindrovou (jindromi@natur.cuni.cz, 728 416 186)

Svým podpisem souhlasíte s účastí v tomto projektu a výše uvedenými podmínkami.

Jméno a příjmení: .....

Datum narození: .....

Dominantní ruka: pravá / levá

V Praze dne .....

Podpis: .....

## Instrukce

---

Děkuji, že jste dnes přišel/-a. V této studii se zabýváme tím, jak se různé emoční stavy u člověka a paměťové procesy odrážejí na jeho fyziologických pochodech. Celé měření obsahuje 4 testy a bude trvat asi hodinu. Než začneme, tak bych Vás ráda požádala o přečtení, vyplnění a podepsání informovaného souhlasu.

-

V prvním testu půjde o rozpoznávání známých orientačních bodů. Vaším úkolem je určit, zda se jedná o velmi známé místo. Uvidíte fotografii místa a po ní bude následovat obrazovka s otázkou, zda je místo známé. Až tuto otázku uvidíte, odpovíte mi ano nebo ne. V testu jsou i místa neznámá. Prosím nesdělujte mi žádné další informace, mohlo by to narušit měření. Odpovídejte pouze jednoslovně ano/ne, až ve chvíli, kdy uvidíte na obrazovce otázku.

Máte nějaké otázky?

-

Další test bude zaměřen na zapamatování jmen a koníčků přiřazených k obličejům různých lidí. V prvním kole uvidíte 12 samostatných obličejů, pozorně si je prohlédněte. Prosím obrázky nijak nekomentovat.

-

V následujícím kole uvidíte obličeje znovu, navíc s přiřazenými jmény, zkuste si tato jména k obličejům zapamatovat. Toto kolo má 3 části po 4 obličejích, přičemž po každé části uvidíte na chvíli všechny 4 obličeje se jménem znova na jedné obrazovce. Prosím obrázky opět nijak nekomentovat.

Máte nějaké otázky?

-

Další kolo je obdobné jako to předchozí, jen si místo jmen máte zapamatovat záliby daných lidí. Opět bude mít 3 části po 4 obličejích. Během prezentace opět prosím nemluvit.

Máte nějaké otázky?

-

Nyní uvidíte všechny obličeje znova a Vaším úkolem je vybavit si, co jste si zapamatoval/-a. Prosím, po dobu zobrazení obličeje nic neříkejte a jen si informaci vybavte a myslete na ni. Až teprve ve chvíli, kdy uvidíte na obrazovce pokyn pro odpověď, mi informace sdělíte. Sdělujte mi prosím pouze jméno a zálibu, nic jiného. Pokud si něco nevybavíte, nic se neděje, neříkejte nic.

Máte nějaké otázky?

-

Nyní se budete dívat na obrázky různých životních situací. Budete hodnotit každý obrázek podle toho, jaký ve Vás vyvolal pocit při jeho prohlížení.

Před každým obrázkem uvidíte bílý fixační kříž na černém pozadí, který Vás upozorňuje na nadcházející obrázek. Poté následuje obrázek. Je důležité, abyste věnovali pozornost promítanému obrázku po celou dobu jeho zobrazení. Po každém obrázku následuje jeho hodnocení, které mi sdělíte slovně ve chvíli, kdy uvidíte obrazovku s postavami.

Podle nich budete hodnotit, jak jste se cítil/-a při každém obrázku. Tyto postavičky znázorňují dva typy pocitů: pozitivní vs. negativní a vybuzený vs. klidný. Můžete vidět, že postavičky v každé škále se liší.

V tomto případě je to škála pozitivní/negativní, která je seřazena od úsměvu k zamračenému pohledu. Na jedné straně pozitivní/negativní škály se cítíte šťastně, vesele, spokojeně, příjemně. Pokud jste se při sledování obrázku cítil/-a zcela šťastně sdělíte mi číslo 1. Z druhé strany škály se cítíte

nešťastně, zhnuseně, nespokojeně, smutně, znuděně. Pokud jste se cítil/-a úplně neutrálně, sdělíte mi číslo prostřední postavy, tedy 5.

Druhou zde zobrazenou škálou je vybuzený/klidný. Z této strany se cítíte vyburcovaně, vzrušeně, nabuzeně, nervózně a z opačné strany jsou vyjádřeny pocity, kdy se cítíte klidně, otupěle, netečně, nevzrušeně. Pokud se cítíte úplně klidný, sdělíte mi písmeno I. Pokud se necítíte ani trochu nabuzeně, ani klidně, označíte postavu uprostřed škály, tedy písmeno E. Svůj pocit můžete vyjádřit i číslem nebo písmenem mezi dvěma postavami.

Ke každému obrázku mi tedy sdělíte číslo i písmeno. Prosím, kromě hodnocení, obrázky nijak nekomentujte.

Některé obrázky mohou navozovat emočně zabarvené pocity, některé mohou být úplně neutrální. Vaše hodnocení každého obrázku by mělo znázorňovat, jak jste se cítil/-a, když jste se na něj díval/-a. Nejsou zde správné nebo špatné odpovědi, takže prosím odpovídejte tak upřímně, jak jen můžete. Je to srozumitelné?

Předtím než začneme, Vám ukážu příklady typů obrázků, které uvidíte a budete hodnotit. Teď chci, abyste si to vyzkoušel/-a, abyste věděl/-a, jak to bude probíhat.

-

Máte nějaké otázky?

Ještě jednou pro připomenutí: Dívejte se na obrázek po celou dobu jeho zobrazení a sdělujte mi pouze číslo a písmeno, co nejrychleji to bude možné.

-

Poslední test bude obdobný jako první. Budu Vám ukazovat tváře, z nichž některé budou patřit osobám neznámým a některé osobnostem ze světa kultury, politiky a sportu. Po každé fotografii bude následovat otázka, zda je osoba známá. Prosím, sdělujte mi odpověď až poté, co uvidíte otázku

na obrazovce. Odpovídejte jednoslovně ano/ne a nesdělujte mi žádné další informace.

Máte nějaké otázky?

-

To byl poslední test. Děkuji Vám za Vaši dnešní účast. Prosím, je důležité, abyste nikomu nesdělovali, co jste viděli v tomto experimentu, protože by to mohlo ovlivnit výsledky.